



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**DISEÑO DEL CAPÓ DEL AUTO
DEPORTIVO NISSAN Z (RZ34) EN
FIBRA DE CARBONO MEDIANTE
SOFTWARE DE DISEÑO Y
SIMULACIÓN DE SÓLIDOS**

Autor:

Jacquin P. Armando J.

C.I: 30.155.135

Urb. Yuma II, calle N.º 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (máster) – Fax: (0241) 8712394



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE MECÁNICA**

**DISEÑO DEL CAPÓ DEL AUTO DEPORTIVO NISSAN Z (RZ34) EN FIBRA
DE CARBONO MEDIANTE SOFTWARE DE DISEÑO Y SIMULACIÓN DE
SÓLIDOS**

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

Autor: Jacquin P. Armando J.

C.I: V-30.155.135

Tutor: Dra. Laura Sáenz

San Diego, Febrero 2024



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del Informe de Pasantía o Trabajo de Grado titulado:

Diseño del capó del Auto deportivo Nissan Z (RZ34) en fibra de Carbono mediante Software de diseño y Simulación de Sólidos

Realizado por el (la) Br. Jacquin Pachano Armandus Jesus
C.I. N° 30155135 cursante de la carrera de Ingeniería Mecánica
hace constar, después de haber analizado su contenido y oída la exposición oral, considera que el mismo ha sido:

APROBADO

NO APROBADO

Jayin

Tutor Académico (Coordinador)
Nombre:
C.I.: Laura Saenz
4357366*



El Jurado

Romanillo

Jurado
Nombre: Donato Romanillo
C.I.: 4131877

Jurado
Nombre: Wiston Espinoza
C.I.: 9885895

Fecha: 10/04/2024



UNIVERSIDAD
JOSÉ ANTONIO PÁEZ

FI-N-012-2023-2CR-TG

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA

San Diego, 01 de diciembre de 2023

Ciudadano(s):
JACQUIN PACHANO, ARMANDO JESÚS
C.I.: 30155135

Presente. -

Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería, en su reunión N° 17-2023 de fecha 3/11/2023, aprobó el proyecto de grado titulado:

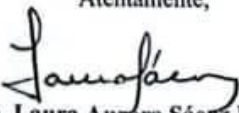
**DISEÑO DEL CAPÓ DEL AUTO DEPORTIVO NISSAN Z (RZ34) EN
FIBRA DE CARBONO MEDIANTE SOFTWARE DE DISEÑO Y
SIMULACIÓN DE SÓLIDOS.**

Presentado por usted(es) como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Se ratifica la designación del Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto a la profesora Sáenz, Laura, titular de la cédula de identidad V-4357366.



Atentamente,


Dra. Laura Aurora Sáenz Palencia
Decana de la Facultad de Ingeniería

c.c. Coordinación de Pasantía y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería

Calle Yuma II, calle 3, Municipio San Diego, estado Carabobo

(0241) 871.42.40 (Master)

ÍNDICE

CONTENIDO

pp.

ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
NOMENCLATURA.....	xiv
RESUMEN.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO

I EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema.....	4
1.2 Formulación del problema.....	7
1.3 Objetivos de la Investigación.....	7
1.3.1 Objetivo General.....	7
1.3.2 Objetivos Específicos.....	7
1.4 Justificación de la investigación.....	8
1.5 Limitaciones.....	8
1.6 Alcance.....	9

II MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes.....	11
2.2 Bases Teóricas.....	13
2.2.1 Material.....	13
2.2.2 Propiedades de los materiales.....	14
2.2.3 Definición de fluido.....	18
2.2.4 Propiedades de los fluidos.....	18
2.2.5 Metales.....	22
2.2.6 Aleaciones.....	23
2.2.7 Polímeros.....	24
2.2.8 Resina epoxi.....	24
2.2.9 Fibra de Carbono.....	24

2.2.10 Ensayos mecánicos.....	27
2.2.11 Software de simulación (CAE)	29
2.2.12 Método de elementos finitos (FEM).....	30
2.2.13 Diseño Asistido por Computadora (CAD).....	31
2.2.14 Automóvil deportivo	31
2.2.15 Nissan Z (RZ34)	32
2.2.16 Capó o cofre	33
2.2.17 Análisis de siniestros.....	33
2.3 Teoría Central de la Investigación.....	35
2.3.1 Teoría de la energía de distorsión de Von Mises	35
2.3.2 Teoría Cinética Molecular	37
2.4 Bases Legales	38
2.4.1 Regulaciones de diseño del capó	38
2.4.2 Regulaciones de seguridad.....	39
2.5 Definición de términos	39
III MARCO METODOLÓGICO	
3.1 Paradigma de la investigación	41
3.2 Tipo de Investigación	42
3.3 Diseño de la Investigación.....	42
3.4 Nivel de la Investigación	43
3.5 Población y Muestra	44
3.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	44
3.6.1 Revisión de documentos	45
3.7 Técnicas de Análisis de Datos	45
3.8 Fases Metodológicas.....	45
IV RESULTADOS	
4.1 Diagnóstico los problemas existentes en el capó original del deportivo Nissan Z.....	48
4.1.1 Materiales de las puertas, capó y maletero.....	48
4.1.2 Eficiencia y desempeño del vehículo.....	49
4.2 Análisis de las variables externas e internas que influyen en el diseño de un capó de fibra de carbono para el auto deportivo Nissan Z.....	50
4.2.1 Comportamiento de los materiales.....	50
4.2.2 Temperaturas en el capó.....	52
4.2.3 Perfil aerodinámico del capó.....	53

4.2.4 Resistencia al impacto.....	54
4.3 Selección de la alternativa de solución con fibra de carbono que mejore las propiedades mecánicas, térmicas y aerodinámicas del capó del auto deportivo Nissan Z.	55
4.4 Diseño del capó de fibra de carbono seleccionado.....	61
4.4.1 Elección de la toma de aire y diseño en SolidWorks.....	61
4.4.2 Ubicación de las tomas de aire.....	63
4.4.3 Diseño del capó en SolidWorks.....	65
4.5 Evaluación de la viabilidad técnica, operativa y económica del diseño realizado.	69
4.5.1 Viabilidad técnica.....	70
4.5.2 Viabilidad operativa.....	70
4.5.3 Evaluación económica.....	85
CONCLUSIONES.....	93
RECOMENDACIONES.....	94
REFERENCIAS.....	95
ANEXOS.....	101
APÉNDICES.....	103

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	DESCRIPCIÓN	pp.
1	Ficha técnica del Nissan Z.....	33
2	Comparación de características económicas entre el aluminio 6010-T4 y la fibra de carbono T800S.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	DESCRIPCIÓN	pp.
1	Diferentes propiedades de la aleación de aluminio 6010-T4.....	51
2	Diferentes propiedades de la fibra de carbono T800S	52
3	Comparación de propiedades entre el modelo original y el modelo de capó propuesto	70
4	Comparación de resultados en el estudio aerodinámico del diseño original y el diseño propuesto	79

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	DESCRIPCIÓN	PP.
1	Sobreviraje en un automóvil.....	7
2	Ejemplo de transferencia de calor por conducción.....	18
3	Gráfico de viscosidad de Newton.....	19
4	Capas límite.....	21
5	Análisis aerodinámico del Koenigsegg One: 1.....	21
6	Carga aerodinámica del Brabham BT62 a 300 km/h.....	22
7	Estructura del prepolímero epoxi, donde n indica el número de subunidades polimerizados y se encuentra en el rango de 0 hasta casi 25.....	24
8	Comparación del diámetro de una hebra de carbono sobre un cabello humano.....	25
9	Comparativa de peso entre una pieza fabricada en fibra de carbono húmeda (A) y fibra de carbono seca (B).....	26
10	Curva esfuerzo-deformación obtenida de las pruebas de tracción.....	28
11	Péndulo utilizado en el ensayo de impacto Charpy.....	29
12	Elemento cuadrilátero presentado por 8 nodos con sus coordenadas....	31
13	Comparación del deportivo Honda Civic Type-R (A) con su versión sedán el Honda Civic LX (B).....	32
14	Imagen promocional del Nissan Z.....	32
15	Comparativa entre el capó del Porsche 911 GT2 RS (A) y su versión de competición el Porsche 911 GT2 RS Clubsport 25 (B).....	33
16	Siniestro del automóvil Nissan Z en Canadá.....	34
17	Teoría de energía de distorsión bajo un esfuerzo triaxial.....	36
18	Análisis térmico del capó de un automóvil.....	52
19	Versión GT4 del modelo Z.....	53
20	Sistema de ventilación con rejillas de la versión GT4 del Z.....	54
21	Carrocería del Koenigsegg Regera construida en fibra de carbono.....	55
22	Imágenes para croquizar el capó.....	56

23	Línea guía en el plano lateral.....	56
24	Línea guía en el plano de planta.....	57
25	Proyección tridimensional de la curva externa del capó.....	57
26	Proyección tridimensional de la curva interna del capó.....	57
27	Línea guía en el plano frontal.....	58
28	Línea guía en el plano de planta.....	58
29	Proyección tridimensional de la curva frontal del capó.....	58
30	Proyección tridimensional de la curva trasera del capó.....	59
31	Construcción del capó original.....	59
32	Renderizado del capó original.....	59
33	Vista superior del capó.....	60
34	Vista lateral del capó.....	60
35	Vista inferior del capó.....	60
36	Funcionamiento aerodinámico de un respiradero.....	62
37	Tomas de aire convencionales hechas en fibra de carbono.....	63
38	Compartimento del motor del modelo Z.....	63
39	Zona de la cubierta del motor considerada para la colocación de las tomas de aire.....	64
40	Ubicación de los disipadores de calor del motor VR30DDTT Twin Turbo.....	65
41	Medidas de una de las tomas de aire del capó.....	66
42	Recorte realizado en el capó.....	66
43	Diseño de la aleta de la toma de aire.....	67
44	Proyección de la aleta por el comando “Recubrir”.....	67
45	Resultado final de las tomas de aire.....	68
46	Aplicación del material al capó.....	68
47	Diseño final del capó en fibra de carbono.....	69
48	Renderizado final del capó en fibra de carbono.....	69
49	Selección del estudio “análisis térmico”.....	71
50	Temperatura en el compartimento del motor.....	72
51	Condiciones en la parte superior del capó.....	72
52	Resultados arrojados en el análisis térmico del modelo original.....	73
53	Resultados arrojados en el análisis térmico del diseño propuesto.....	74

54	Ventana para fijar los parámetros de la simulación.....	75
55	Resultados a obtener en la simulación aerodinámica.....	76
56	Cálculos obtenidos del análisis del modelo original.....	76
57	Comportamiento del flujo en el modelo original.....	77
58	Comportamiento del flujo a un costado del modelo original	77
59	Cálculos obtenidos del análisis del diseño propuesto.....	78
60	Comportamiento del flujo en el diseño propuesto.....	78
61	Comportamiento del flujo a un costado del diseño propuesto.....	78
62	Selección del estudio “Caída”.....	80
63	Configuración realizada para el análisis de impacto	80
64	Tensiones por Von mises en el intervalo 12 del análisis de impacto del modelo original	81
65	Tensiones por Von mises en el intervalo 25 del análisis de impacto del modelo original	81
66	Deformaciones en el intervalo 12 del análisis de impacto del modelo original.....	82
67	Deformaciones en el intervalo 25 del análisis de impacto del modelo original.....	82
68	Forma final de un capó luego de un impacto frontal	83
69	Tensiones por Von mises en el intervalo 13 del análisis de impacto del modelo propuesto	83
70	Tensiones por Von mises en el intervalo 25 del análisis de impacto del modelo propuesto	84
71	Deformaciones en el intervalo 13 del análisis de impacto del modelo propuesto.....	84
72	Deformaciones en el intervalo 25 del análisis de impacto del modelo propuesto.....	85
73	Autoclave utilizada por la marca Pagani para la fabricación de sus vehículos	89

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO	DESCRIPCIÓN	pp.
1	Comparación en los costos de distintos materiales	85
2	Consumo global de fibra de carbono en distintas industrias	86
3	Tendencia y descenso del precio por kilo de la fibra de carbono.....	86
4	Comparación de costos del proceso de curación de fibra de carbono entre el año 2014 y el año 2020.....	87
5	Comparación de costos del proceso de moldeado de fibra de carbono entre el año 2014 y el año 2020.....	88
6	Distribución de costos en un volumen de producción de 200.....	89
7	Distribución de costos en un volumen de producción de 1000.....	89
8	Distribución de costos en un volumen de producción de 50000.....	90
9	Relación Volumen de producción-Costos de la fibra de carbono.....	90

NOMENCLATURA

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
A	Área de la sección transversal
A_F	Área final de la probeta
A_0	Área inicial de la probeta
b_0	Coefficiente de deformación elástica
b_1	Coefficiente de deformación plástica
C_l	Coefficiente de sustentación
D	Diámetro
d	Profundidad de la deformación
D_{med}	Distancia media
d_m	Diferencial de Masa
d_v	Diferencial de volumen
$\frac{d_v}{dy}$	Diferencial de velocidad de corte respecto al diferencial de espesor del fluido
EBS	Velocidad equivalente de barrera
E	Energía de deformación
E_a	Energía absorbida
e	elongación
F	Fuerza
F_u	Esfuerzo último
g	Fuerza de gravedad
HB	Dureza Brinell
h	Coefficiente de transferencia de calor
k	Conductividad térmica del material
KE	Energía cinética
L	Sustentación
L_F	Longitud Final de la probeta
L_0	Longitud inicial de la probeta
l	Longitud

M	Masa molar
m	Masa
n	Número
n_s	Factor de seguridad
q	Flujo de calor por unidad de tiempo
\dot{Q}	Conducción de calor
R	Constante de los gases
Re	Número de Reynolds
S	Resistencia del material
S_y	Límite de fluencia
T	Temperatura
u_d	Energía de deformación
V	Velocidad
V_{RMS}	Velocidad de una partícula
ϑ	Viscosidad cinemática
μ	Viscosidad absoluta
λ	Conductividad térmica
ρ	Densidad
σ	Esfuerzo
τ	Esfuerzo cortante
ΔT	Variación de tiempo



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DEL CAPÓ DEL AUTO DEPORTIVO NISSAN Z (RZ34) EN FIBRA
DE CARBONO MEDIANTE SOFTWARE DE DISEÑO Y SIMULACIÓN DE
SÓLIDOS**

Autor: Jacquin P. Armando J.

Tutora: Dra. Laura A. Sáenz

Fecha: Marzo 2024.

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo diseñar el capó del auto deportivo Nissan Z (RZ34) en fibra de carbono mediante software de diseño y simulación de sólidos. Se ubica en la línea de investigación de avances tecnológicos en tecnologías de información y comunicación, ya que la finalidad del estudio es utilizar herramientas computarizadas que permitan el entendimiento básico para el desarrollo de un capó deportivo, así como demostrar y fomentar el uso de la fibra de carbono en la industria automotriz gracias a sus excelentes propiedades. Las técnicas y herramientas utilizadas en el estudio son, en su mayoría, computacionales, entre las cuales se incluyen el análisis y búsqueda de información en fuentes bibliográficas que serán plasmadas en documentos como libretas, archivos digitales o tablas de datos. Adicionalmente, se realizará la observación directa del diseño y propiedades de los elementos utilizando videotutoriales, simulaciones en el internet y capós de diferentes vehículos. El procedimiento para alcanzar el objetivo del estudio consiste en el modelado de dicho capó utilizando una herramienta CAD (Computer-Aided Design por sus siglas en inglés) y, junto con un software de simulación de sólidos, se someterá el diseño a condiciones específicas que se presentan en esta pieza de la carrocería, aquellas condiciones ponen a prueba las capacidades del capó de soportar la deformación producto de un impacto, la conductividad térmica que tendrá el capó para proteger los elementos que contiene y el perfil aerodinámico que permite una mejor conducción y eficiencia de combustible. Tales condiciones simuladas permitirán la obtención de figuras, tablas y resultados numéricos para ser comparados con el diseño original que porta el deportivo. Mediante el uso de la presente metodología y herramientas se obtienen resultados no muy lejanos a aquellos en estudios más profesionales, sin la necesidad de contar con equipos o instalaciones de pruebas.

Descriptor: Capó, Auto Deportivo, Fibra de carbono, Software de diseño. Simulación.



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

DESIGN OF THE HOOD OF THE NISSAN Z SPORTS CAR (RZ34) IN CARBON FIBER USING DESIGN SOFTWARE AND SOLID SIMULATION SOFTWARE

Author: Jacquin P. Armando J.

Tutor: Dra. Laura A. Sáenz

Date: March 2024.

ABSTRACT

The objective of this research is to design the hood of the sports car the Nissan Z (RZ34) in carbon fiber using solid design and simulation software. Its line of research is the technological advances in information and communication technologies, since the purpose of the study is to use computerized tools that allow basic understanding for the development of a sports hood, as well as demonstrate and promote the use of carbon fiber in the automotive industry thanks to its excellent properties. The techniques and tools used in the study are, for the most part, computational, which include the analysis and search for information in bibliographic sources that will be noted in documents such as notebooks, digital files, or data tables. Additionally, direct observation of the design and properties of the elements will be carried out using video tutorials, simulations on the internet and hoods of different vehicles. The procedure to achieve the objective of the study consists of modeling said hood using a CAD (Computer-Aided Design) tool and, together with solids simulation software, the design will be subjected to specific conditions that are present in this piece of the bodywork, those conditions test the capabilities of the hood to withstand the deformation caused by an impact, the thermal conductivity that the hood will have so it can protect the elements it contains and the aerodynamic profile that allows for better handling and fuel efficiency. Such simulated conditions will allow obtaining figures, tables, and numerical results to be compared with the original design carried by the sports car. By using this methodology and tools, results are obtained not far from those in more professional studies, without the need for testing equipment or facilities.

Key words: Car hood, Sports car, Carbon fiber, Design software. Simulation.

INTRODUCCIÓN

Desde la invención del automóvil, el área automotriz ha desarrollado diversas tecnologías e investigaciones que han permitido el desarrollo constante de los automóviles, iniciando por la mecánica en sí del vehículo, la capacidad o finalidad que tienen los diferentes autos, la forma en la que se comportan, la seguridad que estos ofrecían en caso de un accidente y otros aspectos que se desarrollaron hasta ubicarnos en el presente. En la actualidad las marcas de vehículos fabrican cientos de modelos diferentes cada año, cada uno con sus distintas capacidades y finalidades que requiera el usuario, desde sedanes para el uso diario, camionetas o SUVs para terrenos o actividades que requieran de una mayor fuerza y el ámbito de los deportivos, en el cual se busca obtener cierto confort junto con la capacidad de alcanzar altas velocidades o presentar un manejo excepcional.

Los automóviles deportivos presentan tecnologías más avanzadas que el resto de los automóviles, una de ellas es la implementación de fibra de carbono, un material resistente, duradero y ligero que surge como el siguiente salto tecnológico en la construcción de automóviles. Una de las marcas dentro del ámbito es Nissan, quien ya ha presentado y vendido modelos deportivos como el 350Z (Z33), 370Z (Z34) y el GT-R (R35). Su último modelo deportivo es el Nissan Z (RZ34), un deportivo de la generación Fairlady Z, cuya producción inició en marzo de 2023 y su venta al público en junio del mismo año. Podemos observar que es un modelo muy reciente y con tecnologías actuales, además de presentar un diseño simple tanto en su exterior como en su interior. Aunque el vehículo presenta todas las capacidades y características de un deportivo actual, pero no se puede evitar pensar en que puede ser optimizado mediante el uso de la fibra de carbono en sus componentes del chasis para brindar un mejor desempeño frente a otros modelos en el mercado,

La presente investigación tiene como objetivo diseñar el capó del auto deportivo Nissan Z con fibra de carbono mediante softwares de diseño y simulación de sólidos, esto para poder comparar y explicar las ventajas que brinda el uso de la fibra de carbono en los vehículos comparado con otros materiales.

En el **capítulo I** se presenta el planteamiento del problema, la formulación del problema, el objetivo general y los objetivos específicos de la investigación, la justificación de la investigación, así como su alcance y limitantes.

En el **capítulo II** se presentan los antecedentes en el ámbito de estudio, investigaciones realizadas anteriormente por diferentes autores que tengan relación directa con el o los temas de estudio. Junto con la teoría central y las bases teóricas en las que se basa la investigación,

así como las bases legales que dictaminan el diseño y las características de seguridad que debe poseer el capó de un auto deportivo.

En el **capítulo III** se presenta la metodología utilizada para el desarrollo del estudio, donde se encuentran aspectos como el paradigma, tipo, diseño y nivel de la investigación. Adicionalmente, se encuentran elementos como población y muestra, técnicas e instrumentos en la recolección de datos, técnicas de análisis de datos, confiabilidad de los resultados y las fases metodológicas, aspectos seleccionados para cumplir con los objetivos de la investigación.

En el **capítulo IV** se definen los recursos materiales, institucionales y bibliográficos utilizados en la investigación, así como la planificación para el desarrollo constante de la misma.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

El automóvil es una de las invenciones más exitosas del ser humano, desde su creación que data del siglo XVIII, avanzando hasta 1860 donde se patentó el primer vehículo automotor impulsado por combustión interna, su desarrollo constante durante el siglo XX le brindó diferentes características que mejoraban su comodidad, seguridad y desempeño con las nuevas tecnologías que iban surgiendo durante la época, convirtiéndolo en un método de transporte rápido y confiable. En el presente, el automóvil se convirtió en el sistema de transporte terrestre más utilizado por el ser humano gracias a la construcción y existencia de una amplia red de carreteras y autopistas interconectadas entre sí.

A medida que crecía la industria automovilística también surgió la pasión por las competencias del motor, donde los autos circulan a altas velocidades y deben completar un recorrido en la menor cantidad de tiempo posible, siendo uno de los deportes más caros y complicados del mundo ya que se ven involucradas empresas, deportistas, analistas, patrocinantes e ingenieros, desarrollando estrategias y tecnologías constantemente. Los vehículos que se utilizan en este tipo de competencias suelen ser monoplazas, turismos, gran turismos y deportivos.

Un automóvil deportivo está diseñado para circular a altas velocidades, tener más control, aceleración, frenado y potencia mediante la implementación de tecnologías más avanzadas y eficientes que sus contrapartes convencionales, muchas marcas desarrollan modelos deportivos para sus consumidores, desde los japoneses como Toyota, Nissan, Honda y demás; los alemanes como Porsche, BMW o Audi y hasta los estadounidenses como Chevrolet o Ford.

Los automóviles vienen en diferentes modelos, tamaños, formas, pesos y dimensiones, aunque todos comparten una serie de partes principales como lo son: Los neumáticos, encargados de mantener el contacto con el suelo e impulsar el auto; el motor, el corazón del vehículo que aporta la energía mecánica para desplazarse; la dirección brinda control sobre el vehículo; la suspensión recibe las irregularidades del suelo y las amortiza; la transmisión da la capacidad de distribuir la potencia del motor; los frenos que detienen el vehículo; el interior donde irá el conductor y la carrocería.

La carrocería de un automóvil es la parte visible del vehículo y todos los elementos que la conforman, desde las puertas hasta el capó, aletas, habitáculo, etc. Se puede definir como la estructura externa del coche. La carrocería tiene una función de protección de todas las partes montadas del coche, para que puedan estar presentes, aunque no visibles y accesibles. Las primeras carrocerías datan alrededor del año 1770, cuando servían como estructura a los carruajes de madera.

A partir del siglo XIX, se añadieron formas curvas a la estructura de la carrocería, las cuales en conjunto forman el vehículo completo. Se compone de ventanas, puertas, cubierta del motor, techo, etc. Además, de la madera se dio paso a nuevos materiales como el acero o el aluminio, mucho más resistentes y duraderos. Actualmente se busca que las carrocerías, además de cómodas y seguras, tengan mayor eficacia aerodinámica, lo que se traduce en una mayor velocidad con menos potencia y consumo.

El fin que se persigue al fabricar una carrocería con distintos materiales es lograr que el peso se reduzca, se aumente la resistencia y que la seguridad de todo el conjunto sea cada vez mayor, incluso utilizando materiales más ligeros (Mateos, J. 2020).

Los principales materiales utilizados en la fabricación de la carrocería son las aleaciones de aluminio, de magnesio, de aceros o de fibra de vidrio. En vehículos de gama media-baja se utiliza como material de la carrocería el acero, el cual sigue siendo el material más utilizado en la fabricación de carrocerías gracias a la excelente ductilidad y resistencia que posee para el bajo coste económico en relación con otros materiales. Sin embargo, el principal problema del acero es su debilidad ante la corrosión, la cual afecta la carrocería tras largos períodos de tiempo y llegando a provocar la disminución de propiedades del material, debilitamiento de la estructura del chasis por la aparición de puntos débiles en la carrocería e incluso llegando a la destrucción total de la chapa, aumentando así el riesgo de una rotura al momento de un impacto. Se requiere de un mantenimiento y chequeo continuo de aquellos materiales hechos en acero, el automóvil se ve sometido a diferentes ambientes y situaciones que afectan químicamente al material, provocando gastos en reparaciones o reemplazos constantemente.

En los vehículos de gama superior el aluminio reina como el material a utilizar. La implementación del aluminio data desde la época de los 90, donde se observó que el material ofrecía propiedades mecánicas excelentes como la facilidad del mecanizado, la resistencia a la corrosión, la capacidad de disipación de calor y la resistencia mecánica baja, incluida entre estas como característica principal su gran ligereza, siendo un 40% más ligero que el acero y permitiendo su utilización en elementos mecánicos y de la carrocería de los vehículos; parachoques, cajas de cambios, mordazas de freno, pistones y perfiles son solo algunos de los

elementos que son fabricados utilizando diversas aleaciones de aluminio. El aluminio reacciona fácilmente con el oxígeno, recubriéndose en una capa de óxido llamada alúmina, la cual actúa como anticorrosivo; sin embargo, si el aluminio es combinado con otros materiales con un potencial electroquímico diferente pueden ocurrir procesos de corrosión galvánica y destruir la superficie.

El aluminio es un material con un límite elástico menor que el acero, haciéndolo mucho más frágil y requiriendo un calentamiento antes de poder manipularlo, por lo que se debe tener sumo cuidado a la hora de aplicar esfuerzos para no provocar la aparición de marcas e incluso rupturas. La reparación de elementos fabricados en aluminio requiere de métodos y técnicas costosas, entre ellas la soldadura que resulta significativamente más complicada debido a la aparición de alúmina.

Antes de que cualquier vehículo nuevo pueda lanzarse al mercado, este debe ser sometido a una serie de pruebas exhaustivas bajo ambientes o condiciones específicas, dentro de laboratorios o en pistas de prueba. Las pruebas se enfocan en las propiedades dinámicas del vehículo, como por ejemplo estabilidad, y en la seguridad de los pasajeros en caso de un accidente.

Un vehículo actual, está dotado de sistemas que evitan un siniestro, pero dado el caso de producirse, existen otros componentes que van a provocar que las lesiones e impactos contra el conductor u ocupantes, se minimicen, reduciéndose al máximo las consecuencias del golpe o accidente. Los fabricantes de vehículos están obligados a cumplir con las normas anticontaminación EURO, lo que conlleva fabricar carrocerías más ligeras, reduciendo el peso del vehículo y, por tanto, el consumo de combustible, disminuyendo los gases contaminantes. La unión de esos dos factores ha dado lugar a las carrocerías que incorporan la gran mayoría de los modelos actuales, denominadas autoportantes: el chasis soporta la carrocería y la carrocería soporta el chasis. Están formadas por una estructura compacta, fabricada de una serie de aceros que la dotan de rigidez y seguridad (Mateos, J. 2020).

Todos los componentes de la carrocería deben ser sometidos a pruebas de resistencia de tracción para conocer cómo se comportará el vehículo bajo tensión; pruebas de temperatura ya que deben soportar, no solo las temperaturas del medio ambiente, sino también la del mismo motor que puede llegar a provocar variaciones bruscas; pruebas de impacto para determinar la deformación y absorción de energía cinética del material; pruebas de elasticidad para la construcción del vehículo y muchas otras pruebas que requieren de equipos y personal calificado para poder llevar los resultados a la realidad.

Cada marca realiza sus propias pruebas de seguridad a medida que se desarrolla el vehículo para así aumentar la seguridad que ofrece, una vez exista un prototipo cercano a la versión final del automóvil, se selecciona el modelo para la evaluación realizada por el Programa de Evaluación de Vehículos Nuevos o NCAP (New Car Assessment Program por sus siglas en inglés). El NCAP es un programa mundial de seguridad automotriz encargado de evaluar el desempeño de los nuevos diseños de automóviles frente a diversas amenazas de seguridad, tales amenazas se evalúan en un sistema de estrellas basado en la protección de ocupantes adultos, de ocupantes infantiles y de peatones o usuarios vulnerables además de la evaluación de sistemas de asistencia a la seguridad. El NCAP está dividido en distintas regiones del mundo como Euro NCAP, Latin NCAP y Global NCAP.

En algunos casos, el fabricante de automóviles introduce cambios en la producción o las llamadas mejoras de diseño después (o en respuesta a) una publicación del Latin NCAP. Es responsabilidad del fabricante del auto de probar cualquier reclamo para mejoras bajo los mismos escenarios de prueba, teniendo el modelo probado nuevamente por el Latin NCAP. Cuando no se pueda realizar una evaluación del modelo mejorado realizado voluntariamente por el fabricante del automóvil, la eficacia real de las mejoras sigue sin ser aprobada, y el Latin NCAP mantendrá la calificación original como resultado basado en evidencia que representa ese modelo en venta.

Las pruebas de seguridad requieren de equipos especializados para obtener resultados precisos, entre ellos podemos observar el uso de cámaras con capacidad de hasta 1000 fotogramas por segundo y que se encuentran ubicadas en distintos ángulos para capturar el impacto, iluminación blanca de 20 kW dentro de las instalaciones, motores térmicos o motores eléctricos de 400 kW con una polea que hala el vehículo a través del pasillo de pruebas, maniqués de prueba con sensores adaptados a las pruebas de impacto y los prototipos del vehículo utilizados en impacto frontal, lateral e impacto contra peatones, todos estos elementos suponen una inversión inmensa para los fabricantes y el sacrificio de algunos prototipos para su verificación.

El Nissan Z surge como el último modelo deportivo de la serie Fairlady Z de Nissan, siendo el sucesor directo del 370Z Nismo tras 7 años desde su lanzamiento y compartiendo algunas características del mismo como el ancho del vehículo, el chasis y ciertos componentes de la suspensión, pero su diseño inspirado en el modelo 240Z y un motor V6 de 3.0 litros con doble turbocargador lo hacen denotarse como una evolución y no un rediseño, haciéndolo 80 kilos más pesado pero conteniendo 400 caballos de potencia, 50 caballos más que el modelo 370Z, y 350 lb-ft de torque.

El vehículo ofrece un desempeño satisfactorio en actividades comunes, donde no se aprovecha el 100% de sus capacidades como auto deportivo, sin embargo, en las pruebas de pista llega a ser decepcionante, con una aceleración de 0 a 100 km/h de 4.5 segundos y alcanzando el cuarto de milla en 13 segundos con una velocidad de 180 km/h, superando al antiguo 370Z, pero solo por 0.4 segundos en el 0 a 100 y 0.5 segundos en el cuarto de milla. Además, dentro de las pruebas de manejo y toma de curvas se observa que el Z no genera la adherencia con el suelo que uno esperaría de un auto deportivo, con una transferencia de peso muy lenta en la salida por curvas, especialmente en curvas medias y lentas, resultando en que el Z sobrevira en la salida de la curva si el control del acelerador no es correcto.



Figura 1. Sobreviraje en un automóvil.
Fuente: autocosmos.com.ve/ (2014).

1.2 Formulación del problema

¿Cómo se pueden mejorar las propiedades mecánicas y térmicas del capó del auto deportivo Nissan Z empleando herramientas computacionales como CAD y softwares de simulación?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Diseñar el capó del auto deportivo Nissan Z con fibra de carbono, mediante software de diseño y simulación de sólidos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- ❖ Diagnosticar los problemas existentes en el capó del auto deportivo Nissan Z.
- ❖ Analizar las variables externas e internas que influyen en el diseño de un capó de fibra de carbono para el auto deportivo Nissan Z.
- ❖ Seleccionar la alternativa de solución con fibra de carbono que mejore las propiedades mecánicas, térmicas y aerodinámicas del capó del auto deportivo Nissan Z.
- ❖ Diseñar el capó de fibra de carbono seleccionado.
- ❖ Evaluar la viabilidad técnica, operativa y económica del diseño realizado.

1.4 Justificación de la investigación

La implementación de herramientas computacionales como el diseño asistido por computadora (CAD) y la simulación de sólidos con un enfoque dedicado al área de la ingeniería, suponen una gran capacidad de realizar pruebas o prototipos digitales de los elementos que se desean fabricar y permiten al equipo de trabajo realizar cambios o ajustes de precisión quirúrgica con la seguridad de que los resultados que se obtendrán dentro del estudio serán veraces y aplicables a la realidad, además de poder realizar los cambios anteriormente mencionados en tiempo récord. También conlleva al ahorro de recursos materiales a los fabricantes, poniendo a prueba hasta ensayos destructivos dentro del sistema digital, junto a que se alivia la carga económica por la adquisición de equipos externos necesarios para realizar dichos estudios en la realidad.

El uso de herramientas computacionales en instituciones educativas promueve el aprendizaje interactivo entre los alumnos y los docentes, la visualización directa mediante un software digital de diferentes modelos, sus métodos de construcción, materiales, piezas, entre otros elementos, permite un aprendizaje más placentero y sencillo de entender que aquellos convencionales, además de tener recursos bibliográficos, videográficos y digitales de distintos creadores alrededor del mundo, dichos recursos pueden ser guardados en la nube para luego ser utilizados remotamente en diversos dispositivos.

El desarrollo y la creación de nuevos materiales con propiedades mejoradas y sistemas de alta tecnología utilizados en la construcción de vehículos, le da una posición privilegiada a la fibra de carbono para destacarse por encima de los materiales convencionales, esto gracias a las características que este posee, como lo son su peso, maniobrabilidad, mantenimiento y durabilidad. En la actualidad la fibra de carbono está tomando fuerza no solo en el área automotriz, sino también en la construcción civil como refuerzo de vigas de edificaciones ya que restaura las capacidades de tensión; en el área de la aeronáutica y marina para la fabricación de cascos o mástiles; en el refuerzo de materiales plásticos presentes en tanques de alta temperatura y prácticamente todos los campos de fabricación existentes.

1.5 Limitaciones

El país no posee centros de investigación destinados al diseño automotriz, debido a esto, el área se encuentra muy subdesarrollada a comparación de otros países, contando con muy pocos estudios y herramientas físicas que ayuden a entender los ensayos, teniendo que recurrir a la información obtenida de fuentes extranjeras.

La cantidad de tiempo especificada para realizar la investigación no permite la extensión del estudio a diferentes componentes del vehículo como difusores, alerón trasero o

parachoques, decidiendo así escoger solamente el capó como elemento de estudio, por lo que las posibles mejoras de las que puede beneficiarse el vehículo se ven reducidas a las que brinda la modificación del capó.

1.6 Alcance

En esta investigación se especificarán los factores a mejorar del modelo Nissan Z a través de la modificación de su capó, mediante el uso de documentos se establecerán las propiedades de los materiales que serán puestos a prueba dentro de la simulación de sólidos. Se seleccionó como elemento de estudio al capó ya que juega un papel muy importante en diferentes aspectos del vehículo, desde su comportamiento aerodinámico en pruebas de alta velocidad, el peso del mismo y como influencia en el balance del automóvil, su comportamiento frente a accidentes y la relativa libertad de modificaciones para desempeño que se le pueden hacer al mismo. La simulación de las propiedades se realizará entre el modelo modificado del capó del auto deportivo Nissan Z y el modelo original, para ser comparados entre sí mediante la tabulación de los resultados obtenidos en las simulaciones, exponiendo las ventajas y desventajas entre ambos modelos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El marco teórico es la base que sustenta cualquier tipo de investigación profesional mediante la recopilación de investigaciones previas sobre el tema con el que se está tratando, antecedentes de trabajos similares a la investigación actual, leyes que dictaminan los límites y el desarrollo de dicho trabajo y teorías sobre las que se apoya la investigación para poder brindar un análisis, resultados, hipótesis y, lo más importante, una respuesta clara a la incógnita sobre la que se realiza el trabajo.

Dicha investigación se examina, junto con otras muchas conclusiones provenientes de autores que aportaron sus conocimientos vinculados directa o indirectamente con el tema a tratar, para atacar directamente al problema de esta investigación.

2.1 Antecedentes

Davis, N (2021) en la Universidad de Kansas realizó su trabajo de grado titulado **“Desarrollo de prototipos de montante trasero hechos en polímero reforzado con fibra de carbono para un vehículo de carreras de Fórmula SAE”** para optar por el título de ingeniero mecánico. Este estudio está enfocado en el desarrollo de 4 prototipos de polímero reforzado con fibra de carbono mediante pruebas de falla por esfuerzos, aplicación del análisis de elementos finitos y verificado mediante pruebas estáticas estructurales.

Se utilizó el programa SolidWorks en la primera fase del trabajo para diseñar las piezas de fibra de carbono, tras analizar los materiales y las dimensiones, se compilaron las tecnologías y los requerimientos necesarios para la construcción de dichas piezas en la realidad, estos datos fueron reforzados utilizando distintas teorías y estudios como la teoría de falla Tsai-Wu, la teoría de falla Hashin, el estudio de la desalineación de fibras y demás. La fibra de carbono seleccionada fue la fibra de carbono pre-impregnada con resina debido a la facilidad que tiene para ser manufacturada, la disponibilidad que tiene y el ahorro del tiempo con respecto a la preparación del material.

El aporte de esta investigación en el estudio presente es que la utilización de fibra de carbono en los chasis de fórmula SAE cumplieron con el objetivo original de reducir el peso en un 55,0 % en comparación con los diseños de aluminio de 2017 y un 20,0 % en comparación con los de 2016, manteniendo al mismo tiempo la fidelidad estructural en todas las cargas dinámicas. casos. Esto prueba que el capó de fibra de carbono presentará un menor peso al capó de aluminio original, teniendo un impacto directo en el rendimiento del auto deportivo.

Abruscato, A (2019) en la Universidad José Antonio Páez realizó su proyecto de grado titulado **“Diseño aerodinámico de un alerón delantero de un monoplaça de Fórmula 1 bajo las condiciones del Autódromo Nazionale Di Monza mediante el uso de técnicas de aproximación numérica CFD”** para optar por el título de ingeniero mecánico. Este estudio consistió en el diseño de un alerón delantero de un monoplaça mediante la herramienta de SolidWorks 2013 y su puesta a prueba algunos parámetros del Autódromo Nazionale Di Monza como la velocidad promedio, temperatura del circuito, el viento y demás condiciones atmosféricas que afectan directamente a la aerodinámica del monoplaça.

El alerón es un diseño propio del autor con pequeñas similitudes a los alerones utilizados profesionalmente para aquel entonces, se exportó el alerón al software de simulación CFD SimScale Workbench dónde, tras correr la simulación, arrojó valores en gráficas como la velocidad promedio de 185 Km/h, la energía cinética residual producida por la turbulencia en el alerón que se encuentra por debajo de $1 * 10^{-9}$ y la diferencia porcentual de la fuerza de agarre que presenta el monoplaça con el alerón diseñado es de un 6.6615% mayor a la fuerza que presenta el alerón original.

El aporte de esta investigación en el estudio presente es que la modificación del perfil de los elementos en la carrocería de un automóvil (sea de competición, superdeportivo o deportivo) afecta directamente a la aerodinámica del mismo, pudiendo aprovecharse para modificar el perfil aerodinámico del capó de manera que aumente el agarre del vehículo, el consumo de gasolina e incluso la ventilación de elementos internos.

Molina. F (2018) en la Universitat Politècnica de València realizó su proyecto de grado titulado **“Diseño de un basculante de motocicleta en fibra de carbono y lino para competición”** para optar al título académico de ingeniero mecánico. Este estudio consistió en el desarrollo del basculante de una moto modelo Ducati Desmosedici GP18, un modelo de alta competición de la marca italiana, adhiriendo fibra de lino al compuesto de fibra de carbono para aumentar su flexibilidad.

En dicho estudio, se evaluó la fibra de carbono que se utilizaba en algunos basculantes y se resaltó el problema de que este material era demasiado rígido a comparación de los basculantes de aluminio que predominaban en la temporada de Moto GP 2017/2018, generando vibraciones en la motocicleta una vez se desgastaba el neumático, por lo que había que añadir un compuesto de fibra de lino para poder reducir esta característica.

Se diseñó un prototipo de dicho basculante en el software de Solidworks, siendo un diseño propio del autor y cumpliendo con la normativa de la federación internacional de motociclismo de 2018. Tras analizar los resultados con los refuerzos de fibra de lino se

consigue aumentar la flexibilidad del basculante, junto con el aumento de los límites elásticos y de compresión de la pieza.

El aporte de esta investigación en el estudio presente es que no todos los elementos fabricados en fibra de carbono tendrán las características o se adaptarán correctamente al entorno al que se vea sometido, por lo que se debe realizar una investigación exhaustiva de los diferentes tipos de fibra de carbono que existen en la industria y las modificaciones presentes en ella, para poder escoger correctamente el tipo de fibra de carbono a utilizar en la fabricación del capó del auto deportivo.

Herrmann, M (2016) en la Universidad Politécnica Estatal de California llevó a cabo su trabajo de grado titulado **“Análisis de rigidez torsional y frecuencia natural de un chasis de polímero reforzado con fibra de carbono para vehículos de Fórmula SAE utilizando análisis de elementos finitos”** para optar por la maestría de ingeniería mecánica. Este estudio consistió en el análisis de una estructura espacial tubular intercambiable para albergar la unidad de potencia y la transmisión combinada con una celda del conductor que está construida como un monocasco hecho de revestimientos de fibra de carbono y un núcleo de panel de aluminio. La rigidez torsional y la frecuencia natural de un vehículo son factores clave en la estabilidad de un vehículo, pero a su vez son complicados de comprender y replicar, por lo que las herramientas computacionales son necesarias para el desarrollo de estos en el auto.

El investigador buscaba obtener un chasis más ligero y con la resistencia suficiente para soportar la rigidez torsional y la frecuencia natural de la competición, esta mejora supondría una ventaja por sobre el resto de los competidores, todo esto bajo las reglas impuestas en la competición. Se tomó en cuenta la frecuencia natural del chasis y de la suspensión, ambos elementos poseen la mayor frecuencia debido a la masa y el tamaño del chasis, el motor que se encuentra montado, los resortes de la suspensión y la dureza de los neumáticos. Al haber tantos elementos que influyen en el vehículo se colocaron puntos de masa que incrementaban el peso e inercia del vehículo, acercándolo a un modelo real. Al colocar los datos dentro del Software de simulación Abaqus, se observó que los resultados obtenidos tenían un aumento de frecuencia y de torsión debido a que se tomaron en cuenta diferentes posiciones del motor, si el mismo era un punto de masa con inercia y otro sin inercia.

El aporte de esta investigación es que el uso del modelo de rigidez torsional y la adición de propiedades de densidad para simular la respuesta de frecuencia natural del bastidor conducen a resultados plausibles al compararlos con los valores publicados de otros vehículos FSAE con bastidores con una relación rigidez-peso similar y resultados de la solución analítica. Por lo tanto, la fibra de carbono arroja una frecuencia y estabilidad a la par que los modelos

compuestos por aluminio, siendo una opción más a tomar en cuenta en la fabricación de componentes de carrocería como puede ser el capó gracias a la estabilidad que ofrece.

Portillo, M. en conjunto con Chacón, R, Moreno, M y Bongiorno, F. (2011) en la Universidad de los Andes, llevaron a cabo un estudio titulado **“Simulación y análisis de una prueba de choque de un automóvil tipo deportivo, utilizando un software basado en el método de los elementos finitos”** para optar por el título de ingeniero mecánico. Este estudio consistió en la realización de un choque frontal de un automóvil tipo deportivo de diseño propio a través de herramientas de Elementos de Análisis Computarizado (CAE).

En dicho estudio, el vehículo a poner a prueba fue diseñado en un modelo tridimensional utilizando el programa SolidWorks 2006 de AutoDesk Inc. Y cuyas dimensiones fueron creadas íntegramente por los autores, basándose ligeramente en algunos modelos de Automobili Lamborghini S.p.A, teniendo un chasis tubular fabricado en aluminio y una distribución de peso de 45-55 debido a la posición trasera del motor.

Se estudiaron diferentes variables del vehículo, desde la masa del vehículo, la velocidad de impacto, la aceleración o desaceleración tras el impacto, la forma del impacto, la zona de impacto y el deslizamiento del vehículo, esto sumado con las cargas de impacto que rondan entre los 1500Kg y se supuso una velocidad de impacto de unos 90 Km/h.

La simulación realizada en Abaqus CAE arrojó resultados de deformación en la parte frontal del vehículo de entre 40 y 60cm/m, otra de unos 20cm/m en la zona de unión entre el motor y el chasis del vehículo y el habitáculo del vehículo solo presentó una deformación máxima de 3cm/m en sus nodos.

El aporte de esta investigación es que las herramientas de simulación de sólidos arrojan datos cercanos a la realidad incluso con la suposición de varios factores, esto disminuye drásticamente la inversión que se debe realizar para poner a prueba las propiedades y seguridad del vehículo; hasta se logra simular cada elemento que compone el vehículo y ponerlo a prueba, por lo que la presente investigación contará con el uso de softwares como SolidWorks, Abaqus o Ansys para confirmar el buen desempeño que se busca en el capó deportivo de fibra de carbono en las pruebas de impacto, deformación, temperatura y aerodinámica.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Material

Un material es un elemento utilizado como recurso para lograr un objetivo, estos se ven sometidos a procesos químicos y físicos para obtener las características deseadas, al resultado de esta transformación se le llama materia prima. Los materiales pueden agruparse en los

grupos de un conjunto, ya sea por su estructura molecular, sus propiedades, su finalidad, entre otras características.

En la naturaleza existen muchos materiales que en conjunto forman distintos yacimientos, minerales y demás fuentes de materiales naturales. Existen combinaciones de dichos materiales naturales que, tras una serie de transformaciones y procedimientos naturales o industriales, permiten la creación de nuevos materiales llamados materiales sintéticos.

2.2.2 Propiedades de los materiales

Como se explicó anteriormente, cada material tiene características y propiedades que los distinguen entre sí, esto determinará el propósito y el desempeño que tendrán en el trabajo asignado. A continuación, se describen algunas propiedades:

2.2.2.1 Densidad

En términos más simples, Pérez, M define que “la densidad es la acumulación de elementos en un espacio determinado, en las áreas de química y física este término es definido como la magnitud utilizada para medir la masa existente en el volumen de un elemento determinado. Esta propiedad es muy útil para identificar materiales ya que es una propiedad física intensiva, es decir, una característica que no depende de la cantidad de la sustancia.” (2023).

La densidad se denota con la letra ρ (rho) donde, por ejemplo, la densidad de los gases resulta muy sensible a cambios de temperatura y de presión, mientras que los líquidos mantienen esta propiedad incluso en condiciones de temperatura y presión diferentes a las usuales. Conocemos la densidad de un elemento si conocemos la masa y el volumen de la sustancia y aplicamos la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{dm}{dV} \quad (1)$$

Donde ρ es densidad, dm es el diferencial de masa y dV es el diferencial de volumen del elemento.

2.2.2.2 Resistencia mecánica

Es la capacidad que tiene un cuerpo de resistir distintos esfuerzos que se le aplican sin que se presenten defectos como grietas o deformaciones residuales que afecten negativamente su desempeño o tienda a deteriorarse más rápido. Los esfuerzos a los que se somete el cuerpo varían desde tracción, compresión, flexión, torsión y el combinado de estas denominado fatiga; dicha capacidad de resistir se pone a prueba mediante ensayos experimentales que varían dependiendo del material.

El parámetro utilizado para valorar la resistencia mecánica de un cuerpo es el factor de seguridad, el cual consiste en un índice de seguridad que se espera de una pieza determinada y que se utiliza para diseñar elementos capaces de resistir los esfuerzos por encima de lo esperado en caso de que ocurra una sobrecarga o falla. Las formas más comunes de definir el factor de seguridad de un cuerpo son las siguientes:

$$n_s = \frac{S}{\sigma} \quad (2)$$

Donde S es la resistencia del material y σ es la tensión existente

$$n_s = \frac{F_u}{F} \quad (3)$$

Donde F_u es el esfuerzo último o el esfuerzo límite y F es la fuerza que se está aplicando.

2.2.2.3 Dureza

La dureza es una magnitud específica de la materia que caracteriza la deformación local, concentrada en un pequeño volumen de su superficie exterior de un material o bien caracteriza la resistencia que opone un material al tratar de ser rayado o penetrado por otro, también se le conoce como fragilidad. La dureza está relacionada con las propiedades elásticas y plásticas de un material, decimos que un elemento es frágil cuando este se quiebra o raya sin una deformación perceptible.

La forma de medir la dureza varía dependiendo del tipo de resistencia que se quiera medir, esto va de la mano con las distintas pruebas que se realizan, entre ellas está la Brinell, Rockwell, Vickers y Mohs las cuales comprueban mediante un microscopio la condición de la superficie. Las pruebas de dureza Brinell se realizan en fundiciones, aceros, cobre, bronce y aluminio, donde el acero presenta una dureza entre 120 y 180 HB mientras que las aleaciones de aluminio utilizadas en la industria automotriz presentan una dureza de entre 25 a 95 HB.

En las pruebas Brinell, se fuerza un penetrador esférico duro bajo una carga específica en la superficie del metal que se va a probar. El número de dureza Brinell (HB) es dos veces la carga (en kgf) dividida por el área de la superficie de la muesca, resultando en la unidad de kgf/mm^2 . El diámetro de la impresión se mide con un microscopio con una escala superpuesta. Tras lo anteriormente mencionado, el número de dureza Brinell se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$HB = \frac{2P}{\pi D * (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (4)$$

2.2.2.4 Ductilidad

La ductilidad consiste en la facilidad que tienen los materiales de deformarse sin quebrarse cuando se les aplica una fuerza externa, permitiendo la formación de alambres o hilos. En términos más avanzados, la ductilidad se determina si el alargamiento longitudinal producido por una tracción y la disminución de la sección transversal es elevado. La ductilidad es la propiedad opuesta a la fragilidad, donde un elemento se considera dúctil si su deformación admite un alargamiento mayor al 5% antes de su rotura.

Para determinar la ductilidad de un material se lleva a cabo una prueba de tracción, donde se coloca una probeta del material a estudiar y se aplica una fuerza de tracción hasta que el elemento se fracture, desde aquí se puede medir el porcentaje de alargamiento o la reducción del área que tuvo la probeta.

$$\% \Delta L = 100 * \frac{L_F - L_O}{L_O} \quad (5)$$

$$\% \Delta A = 100 * \frac{A_F - A_O}{A_O} \quad (6)$$

Donde $\% \Delta L$ y $\% \Delta A$ se refieren a la reducción del área, L_F, L_O, A_F y A_O se refieren a las longitudes y áreas finales e iniciales de la probeta.

2.2.2.5 Maleabilidad

Así como existe la ductilidad en la mayoría de los metales, también es común en este tipo de materiales la maleabilidad. Esta otra propiedad mecánica consiste en la capacidad para ser laminados sin romperse, es decir, para ser moldeados en láminas delgadas, a través de procedimientos de compresión. Los materiales maleables, a diferencia de los dúctiles, no forman hilos al estirarse, aunque un mismo material puede ser dúctil y maleable a la vez.

La maleabilidad, puede ser medida con los aparatos que miden la elasticidad, y el desplazamiento que puede sufrir la masa de determinado cuerpo, cuando es sometido a una fuerza explicada. La maleabilidad es similar a la ductilidad solo que mide la capacidad de fabricar láminas, es decir que la maleabilidad mide la superficie por unidad de material empleado.

2.2.2.6 Resistencia al impacto

Es la capacidad de un material de no fracturarse tras ser sometido a cargas breves y temperaturas variables. La energía necesaria para romper una muestra es la suma de las energías necesarias para deformar, iniciar y propagar una fractura. Como el comportamiento de la fractura depende de la temperatura, a menudo se ensayan materiales en todo el rango de

temperaturas para observar a qué temperatura y en qué medida se quiebra un material. La resistencia al impacto también está relacionada con la velocidad de carga aplicada, cuanto más alta es la velocidad de carga, el elemento fallará más fácilmente como un material quebradizo debido a la falta de tiempo para que las fuerzas intermoleculares sean efectivas.

2.2.2.7 Conductividad térmica

La conductividad es la propiedad de un cuerpo que permite el paso de alguna energía a través de él, en el caso de los materiales existe la conductividad térmica y la conductividad eléctrica, sin embargo, en este trabajo resaltaremos exclusivamente la conductividad térmica en ellos.

La conductividad térmica, en tanto, es la propiedad de los cuerpos capaces de conducir el calor. La propiedad inversa a la conductividad térmica recibe el nombre resistencia térmica (la capacidad de un material para generar oposición al transporte del calor). La explicación de este fenómeno radica en que, al calentarse un material, sus moléculas aumentan su energía cinética, es decir, incrementan su agitación. Las moléculas, entonces, son capaces de compartir ese extra de energía sin ocasionar movimientos globales de la materia (en eso se distingue de la convección térmica de los líquidos y gases), siendo esta capacidad muy elevada en los metales y en los cuerpos continuos, por lo general, y muy baja en los polímeros y otros materiales aislantes como la fibra de vidrio.

La conductividad térmica de un material se calcula a partir de un coeficiente (referido como λ) y es distinta dependiendo de su naturaleza molecular. Este cálculo se realiza en base a la siguiente fórmula:

$$\lambda = \frac{q}{\Delta T} \quad (7)$$

Donde λ es la conductividad térmica, q es el flujo de calor por unidad de tiempo y ΔT es el gradiente de temperatura, midiéndose de acuerdo con el Sistema Internacional, a partir de la relación de Watts entre metro por grados kelvin $W/(m * ^\circ K)$. Esta unidad es equivalente a Joules sobre metro por segundo por Kelvin $J/(m * s * K)$. La transferencia de calor se produce diferentes métodos, siendo uno de ellos la conducción, la cual consiste en el contacto directo entre un cuerpo a alta temperatura y otro a baja temperatura, o en el flujo de calor a través de un solo cuerpo de una zona a otra, siendo el intercambio de energía interna, que es una combinación de la energía cinética y energía potencial de sus partículas microscópicas. La conducción de calor se rige por una serie de ecuaciones diferenciales, las cuales simplificadas resultan en la siguiente fórmula.

$$\dot{Q} = k * A * \frac{h * (T_1 - T_2)}{k + h * L} \quad (8)$$

Donde k es la conductividad térmica del material, A es el área total del elemento, h el coeficiente de transferencia de calor que presenta el entorno, T_1 y T_2 la diferencia de temperaturas entre el foco caliente y el foco frío y L el espesor del material. Para determinar la temperatura en cualquier punto del elemento sin tener en cuenta el tiempo que tarda en dispersarse se utiliza la siguiente fórmula simplificada

$$T(x) = -\frac{h * (T_1 - T_2)}{k + h * L} * x + T_1 \quad (9)$$

En este caso, la variable x representa cualquier punto del elemento, teniendo como unidad el metro. Estas fórmulas presentan el caso más sencillo de la transferencia de calor, donde la conductividad del material es constante, la transferencia de calor es estable y unidimensional y no existe otra generación de calor en algún punto del elemento.

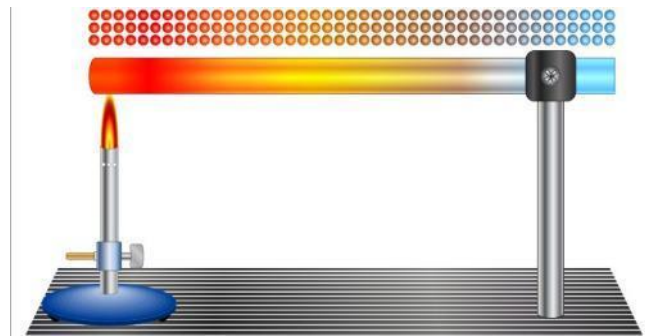


Figura 2. Ejemplo de la transferencia de calor por conducción.
Fuente: concepto.de/ (2020).

2.2.3 Definición de fluido

Un fluido es un medio continuo cuyas partículas se mantienen unidas entre sí mediante fuerzas de atracción débiles y las paredes de un contenedor, teniendo la capacidad de adoptar la forma del contenedor o adaptarse el perfil de un objeto que lo atraviesa. Dentro de los fluidos podemos encontrar los líquidos y los gases, 2 de los 4 estados de la materia, dónde los líquidos poseen un volumen fijo que los hace altamente incompresibles, y los gases que no poseen volumen fijo, pero cuyas moléculas pueden abarcar el volumen completo del contenedor y ser comprimidas.

2.2.4 Propiedades de los fluidos

Los fluidos poseen magnitudes físicas que alteran y definen el estado en el que se encuentra, propiedades como la densidad, la tensión y demás afectan tanto a fluidos como a sólidos, sin embargo, las propiedades que aparecerán a continuación son exclusivas de los fluidos:

2.2.4.1 Viscosidad

La viscosidad se refiere a la fuerza que se debe aplicar sobre el fluido para que pueda moverse y la velocidad que éste obtiene. Para Valverde, M (2023) “cuando aplicas una fuerza a un fluido, las partículas que lo forman generan cierta fricción interna para resistir el flujo. A mayor fricción, mayor fuerza se tendrá que hacer para conseguir que el fluido se mueva”.

Dentro del mundo del automovilismo la densidad y viscosidad del aire son elementos cruciales en el desarrollo de la aerodinámica, dependiendo de las condiciones ambientales presentes, el vehículo tendrá mayor o menor carga aerodinámica, resultando en un rendimiento y desgaste de neumáticos totalmente diferentes.

La fuerza que se realiza para desplazar un fluido viscoso aumenta con la superficie del fluido que se está desplazando, generando así un esfuerzo de cizalla. Esta ecuación fue descrita por resulta Isaac Newton y se presenta a continuación:

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu * \frac{dv}{dy} \quad (10)$$

Donde τ es el esfuerzo cortante que se resiste al movimiento, F siendo la fuerza tangencial, A el área en m^2 μ el factor de proporcionalidad o viscosidad absoluta o dinámica y $\frac{dv}{dy}$ se denomina diferencial de velocidad de corte o de cizallamiento respecto al diferencial del espesor del fluido.

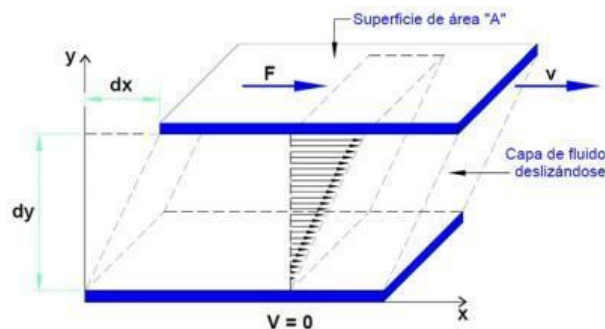


Figura 3. Gráfico de viscosidad de Newton.
Fuente: caloryfrio.com/ (2020).

2.2.4.2 Número de Reynolds

Es un número adimensional utilizado en la mecánica de fluidos y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido. La importancia de éste radica en que nos habla del régimen con que fluye un fluido, lo que es fundamental para el estudio del mismo. Cuando un fluido se desplaza a bajas velocidades en forma de líneas paralelas se dice que tiene

un flujo laminar, a medida que aumenta la velocidad y el fluido se desplaza de manera más caótica, presentando remolinos que se mezclan entre sí, se dice que es un flujo turbulento.

El físico Osborne Reynolds estudia en 1883 el comportamiento de las corrientes de los fluidos dentro de tuberías, demostrando que el flujo depende de una relación entre la velocidad del fluido, la sección de paso del fluido, la densidad del fluido y el coeficiente de viscosidad dinámica del fluido, obteniendo así la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{D * v * \rho}{\mu} = \frac{v * l}{\vartheta} \quad (11)$$

Donde D es el diámetro de la tubería el cual puede ser sustituido por una longitud característica l , v es la velocidad del fluido, ϑ es la viscosidad cinemática del fluido, la cual resulta de la división entre el coeficiente de viscosidad dinámica μ y la densidad del fluido ρ .

Dentro de la aerodinámica, las capas de aire que se encuentran adheridas al cuerpo son frenadas por el rozamiento, las capas que se encuentran más alejadas con respecto a la superficie se ven menos afectadas, generando así una capa de aire alrededor del cuerpo con gradiente de velocidad 0 denominada capa límite. Si la diferencia de velocidad es baja se produce una capa laminar, si por el contrario la diferencia de velocidad es alta o existe alguna molestia, como una curvatura en la superficie, se produce una capa turbulenta.

Una capa límite laminar crea menos superficie de rozamiento que una turbulenta, y por eso la resistencia es menor, mientras la capa se mantenga laminar. Pero una capa límite turbulenta también puede retrasar la embestida de la separación del flujo en algunas circunstancias, o incluso causar la unión de un flujo separado. Esto puede tener beneficios importantes debido a la creación de carga aerodinámica y la reducción de resistencia, y por eso no sería correcto decir que la condición laminar siempre es la meta a alcanzar (McBeath, 1998, p. 46).

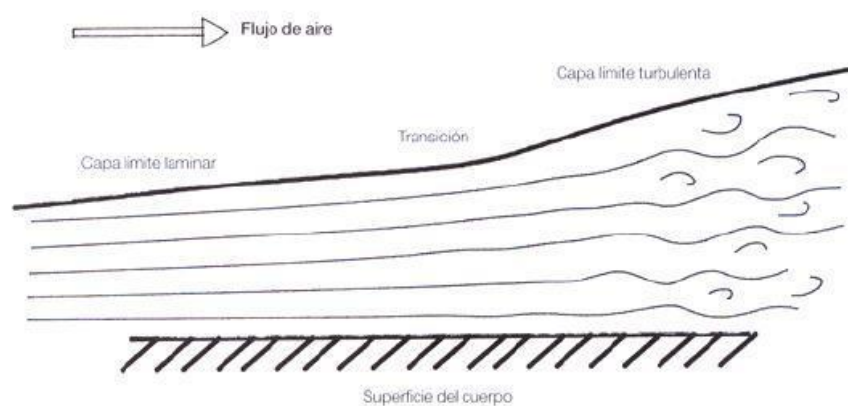


Figura 4. Capas límite.
Fuente: McBeath, S (1998).

2.2.4.3 Carga aerodinámica

El flujo de aire a través de la superficie de un cuerpo genera una resistencia aerodinámica, ya que el aire, al igual que otro fluido, tiene una densidad constante, cuyo valor aproximado es de $1,225 \text{ kg/m}^3$. Dicha resistencia se le conoce como arrastre y es la fuerza horizontal y opuesta al movimiento del vehículo, dependiendo de la velocidad a la que se desplaza el vehículo y el área frontal del mismo.

Junto con el arrastre existe una fuerza perpendicular que hace que el vehículo se adhiera al suelo, esta fuerza recibe el nombre de “Downforce”, “Negative lift” o carga aerodinámica, esta adherencia ocurre debido al cambio de presiones que sufre el aire al circular con mayor o menor velocidad a través de la superficie del vehículo, permitiendo un paso por curva más rápido debido a que las ruedas hacen mejor contacto con el suelo, obteniendo así una mejor tracción.



Figura 5. Análisis aerodinámico del Koenigsegg One:1.
Fuente: autodinamico.mx/ (2022).

Los componentes de la resistencia y la carga aerodinámica se combinan entre sí para dar la fuerza aerodinámica total resultante, la cual podemos obtener mediante el uso de las siguientes fórmulas:

$$L = C_l * \frac{1}{2} * \rho * v^2 * A \quad (12)$$

Donde L es la fuerza de sustentación o downforce en Newtons, C_l es el coeficiente de sustentación adimensional, ρ es la densidad del aire en kg/m^3 , v es la velocidad del vehículo en m/s y A es el área frontal del vehículo en m^2 . El valor del coeficiente de sustentación es negativo ya que el resultado es una fuerza hacia abajo, además, mientras más alto sea, más

agarre aerodinámico genera el vehículo. Una vez encontrado L , se completa la ecuación de la 2da Ley de Newton utilizando el downforce como fuerza.

$$L = m * g \quad (13)$$

$$m = L/g \quad (14)$$

Despejando la masa m obtendremos la carga aerodinámica del automóvil expresada en kilogramos. Cabe destacar que el cálculo de L atraviesa distintas fases para su veracidad:

Este valor es calculado utilizando primero herramientas de CFD, luego túnel de viento y después pruebas físicas con el vehículo real en diferentes pruebas y corroborando resultados. Con la instrumentación necesaria, las marcas podrán encontrar el downforce total que actúa tanto en el eje delantero como en el trasero a diferentes velocidades (Pendás, 2020).

Debe existir un balance aerodinámico en el vehículo, ya que mucha carga aerodinámica en la parte delantera hará que el auto tenga tendencias a sobrevirar en las curvas y mucha carga aerodinámica en la parte trasera generará tendencias de subvirar.



Figura 6. Carga aerodinámica del Brabham BT62 a 300 km/h.
Fuente: motor.es/ (2020).

2.2.5 Metales

Son elementos que se caracterizan por ser sólidos a temperatura ambiente, conducir el calor y la electricidad. El metal es extraído de las rocas y se encuentra en la naturaleza en estado sólido a temperatura ambiente, con excepción del mercurio que se encuentra en estado líquido. Asimismo, el metal se caracteriza por tener una alta densidad y una elevada reflexión de la luz, lo que a su vez le aporta brillo.

Los metales forman parte de los elementos que son ampliamente utilizados por los seres humanos. Desde la Antigüedad los metales han sido aprovechados en su estado natural para la

elaboración de herramientas básicas. Luego, a medida que ha avanzado el desarrollo tecnológico, los metales han sido utilizados de diversas maneras, de allí que en la actualidad sean de los elementos más importantes en la producción industrial, especialmente por su resistencia.

2.2.6 Aleaciones

Una aleación es una combinación homogénea de 2 o más elementos donde por lo menos 1 de ellos debe ser un metal. Las aleaciones presentan brillo metálico y alta conductividad eléctrica y térmica, aunque usualmente menor que los metales puros. Las propiedades físicas y químicas son, en general, similares a la de los metales, sin embargo, las propiedades mecánicas tales como dureza, ductilidad, tenacidad etc. pueden ser muy diferentes, de ahí el interés que despiertan estos materiales.

2.2.6.1 Aleaciones de Aluminio

El aluminio y sus aleaciones ocupan desde hace más de tres décadas un lugar destacado en la industria del transporte y la automoción, pues las aleaciones de aluminio cuentan con características especiales de buen moldeo, dureza, ligereza, resistencia mecánica y conductividad térmica, entre otras, convirtiéndose en una opción viable para la utilización en la industria automotriz. Las aleaciones de aluminio se clasifican en dos grupos, dependiendo del proceso de fabricación: aluminios forjados y fundiciones de aluminio.

Las principales aleaciones utilizadas en las chapas de carrocería y carrocerías en bruto son de las series 5000 y 6000. Las aleaciones de la serie 5000 contienen magnesio, mientras que la serie 6000 son aleaciones con magnesio y silicio, de fácil mecanizado, que son endurecidas por precipitación y se están utilizando cada vez más en aplicaciones automovilísticas. Dentro de las aleaciones de serie 6000 se encuentra la aleación de aluminio T6 o 6061 T6.

El T6 hace referencia al temple o grado de dureza, que se consigue mediante endurecimiento por precipitación. Este grado tiene una buena relación resistencia-peso y también es tratable térmicamente. Gracias a su gran conformabilidad y soldabilidad, se utiliza para aplicaciones estructurales y de ingeniería, barcos, muebles, etc (Spira, N. 2022).

La aleación T6 está aleada principalmente con silicio y adiciones de cobre y/o magnesio. Es un tipo de aleación que se funde fácilmente lo que posibilita el trabajo del material para formas complicadas, tienen buena maquinabilidad, pero no presenta la misma resistencia a la corrosión y a los agentes químicos que otras aleaciones.

2.2.7 Polímeros

Se llama polímeros a un conjunto de macromoléculas usualmente orgánicas, que resultan de la unión de moléculas más simples llamadas monómeros mediante enlaces químicos de tipo covalente. Se constituyen largas estructuras moleculares unidas entre sí por distintas fuerzas (puentes de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals o interacciones hidrofóbicas). Los polímeros pueden tener distintas propiedades, en función de su estructura química, su tamaño, la dispersión de masas moleculares de sus macromoléculas y el grado de entrecruzamiento de las cadenas.

2.2.8 Resina epoxi

El epoxi es una resina polimérica que se endurece cuando se combina con un catalizador. El epoxi es uno de los materiales más comunes utilizados para formar la matriz en la fabricación de fibra de carbono. Esta resina se une a la fibra de carbono, Kevlar y fibra de vidrio para formar una barrera sólida a prueba de fugas, teniendo una mayor resistencia a la tracción, rigidez y resistencia a la fatiga. Es más resistente a la degradación por agua y ósmosis en comparación con el poliéster o el viniléster. La resina epoxi viene en dos partes que deben mezclarse en las proporciones adecuadas para obtener la máxima eficacia.

Existen muchas fórmulas diferentes de resina epoxi que se endurecerán a diferentes temperaturas y velocidades. Además, también existen diferentes compuestos de resina epoxi resistentes a la temperatura. En general, el epoxi es un material adhesivo más fuerte que el poliéster o el éster vinílico, pero tiene la desventaja de crear un rubor de amina similar a la cera que debe eliminarse antes de poder agregar más capas.

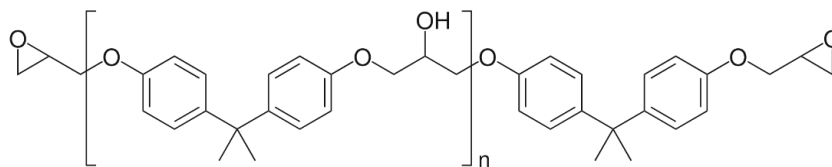


Figura 7. Estructura del prepolímero epoxi, donde n indica el número de subunidades polimerizadas y se encuentra en el rango de 0 hasta casi 25.

Fuente: Wikipedia.org/ (2023).

2.2.9 Fibra de Carbono

La fibra de carbono es un material de construcción muy reciente que está ganando popularidad entre los diferentes sectores industriales debido a sus increíbles propiedades y lo sano que es con el medio ambiente. Consiste en una fibra sintética que se compone de finos filamentos, entre 5 y 10 micrómetros de diámetro, pero en su gran mayoría está construido por carbono. La fibra de carbono es un material compuesto que combina hilos de carbono con una

resina termoestable, estos dos componentes tienen diferentes propiedades físicas y químicas que los mantienen separados en un nivel macroscópico dentro de la estructura.

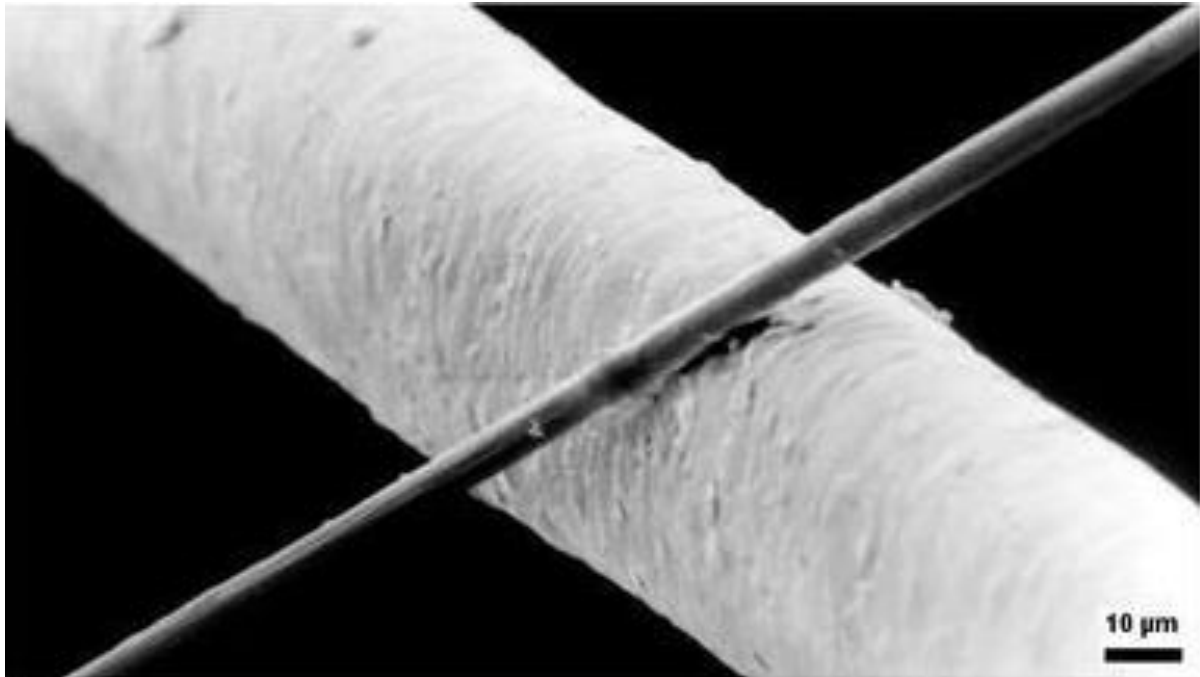


Figura 8. Comparación del diámetro de una hebra de carbono sobre un cabello humano.

Fuente: xataka.com/ (2019).

Estos filamentos son tan finos que es necesario reunir varios miles de ellos para dar forma a una sola fibra o hilo de carbono. Precisamente por esta razón resulta muy curioso que este material tenga una densidad media que oscila habitualmente entre 1,6 y 1,7 g/cm³, una cifra muy inferior a los 7,85 g/cm³ que tiene el acero, un material con el que comparte algunas propiedades mecánicas.

La fibra de carbono se utiliza como componente en los materiales compuestos o composites, generalmente combinándola con plásticos termoestables como resina epoxi, dando así lugar a lo que conocemos como CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic). Así, se hace una “mezcla” de fibra de carbono y resina para dar lugar a ese material que se usa en la industria y que en teoría hereda lo bueno de cada cual: la gran resistencia y ligereza de uno, y la capacidad de adoptar y mantener una forma.

2.2.9.1 Tipos de fibra de carbono

Conocidas originalmente como “Wet (Mojada) Carbon Fiber” y “Dry (Seca) Carbon Fiber” los tipos de fibra de carbono pueden generar confusión, ambos términos se refieren a la forma en que se producen, cada uno con sus diferentes ventajas y propiedades dependiendo de la función que se busca cumplir. De ahora en adelante nos referiremos a estos términos como Fibra de carbono húmeda y fibra de carbono seca.

2.2.9.1.1 Fibra de carbono pre-impregnada

La fibra de carbono pre-impregnada se refiere a que la fibra de carbono es impregnada con la resina epoxy en la fibra en sí, donde diferentes métodos de fabricación generan diferentes espesores de esta resina, los cuales son indicados por la cantidad de gramos por metro cuadrado presentes en el carbono, aclarando también que el uso de más resina no se traduce en una mejora de la calidad de la fibra de carbono en sí.

2.2.9.1.2 Fibra de carbono seca

La fibra de carbono seca se fabrica colocando una pieza de carbono pre-impregnada dentro de un molde que será sellado y colocado al vacío, para posteriormente ser calentado entre 350 y 800°C a una presión de 100 psi para luego ser enfriado. Esto resulta en una fibra de carbono más ligera, fuerte y resistente, siendo la versión de mayor calidad de los productos en fibra de carbono, pero teniendo costos de hasta 3 o 4 veces mayor que su contraparte la fibra de carbono mojada. Las aplicaciones de la fibra de carbono seca van desde el uso de alas, hélices y estructuras en la aeronáutica; alerones y paneles de la carrocería en los automóviles; implantes y prótesis en la medicina y demás.

2.2.9.1.3 Fibra de carbono húmeda

El término carbono húmedo se aplica a la fibra de carbono que ha sido fabricada utilizando láminas de fibra de carbono en bruto que no han sido pre-impregnadas con resina. En cambio, la resina se aplica manualmente en la etapa de colocación. Esto crea una variable basada en la habilidad y el enfoque de calidad del fabricante, debido a la cantidad y calidad de la resina. Normalmente las piezas de carbono húmedas no son tan fuertes como sus contrapartes de carbono secas, pero ofrecen buena fuerza, resistencia, más flexibilidad y un acabado similar por un precio mucho más reducido y tiempos de fabricación menores. Con aplicaciones como fuselaje y componentes interiores en los aviones o parachoques, guardabarros y maleteros en los automóviles.

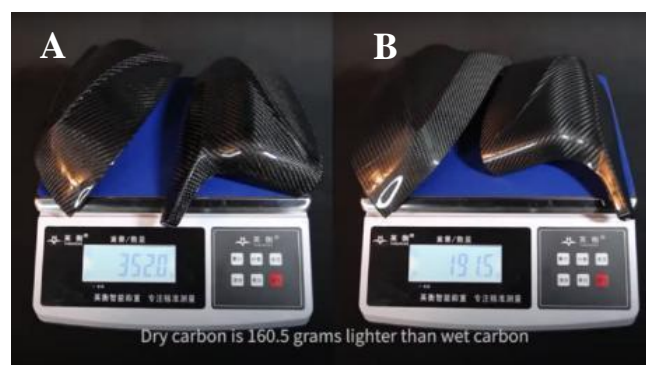


Figura 9. Comparativa de peso entre una pieza fabricada en fibra de carbono húmeda (A) y fibra de carbono seca (B).

Fuente: facfox.com/ (2023).

2.2.10 Ensayos mecánicos

Los ensayos mecánicos son un conjunto de pruebas estandarizadas que se utilizan para determinar las propiedades mecánicas o físicas de un elemento, estas pruebas son de vital importancia en el diseño y fabricación de piezas, permitiendo a los fabricantes distinguir materiales de menor calidad o con distintas propiedades de acuerdo con el uso que vayan a cumplir. Existen varias pruebas de ingeniería mecánica adecuadas para determinar los parámetros de resistencia del material que se observan en varios plásticos, resinas e incluso metales. Cada uno tiene un enfoque y una máquina únicos y puede proporcionar información sobre varios parámetros relacionados con la fuerza.

2.2.10.1 Ensayo de tracción

Un ensayo de tracción o ensayo de tensión consiste en aplicar una fuerza o carga de tracción mediante una máquina especializada bajo parámetros previamente impuestos por el investigador, mientras se lleva a cabo la prueba, la máquina registra los datos mediante un dispositivo de medición de la deformación llamado extensómetro hasta el final del ensayo. Este ensayo es de carácter destructivo, por lo que una vez realizado la muestra pierde las propiedades iniciales o sufre una fractura, siendo desechada posteriormente. Los ensayos de tracción son uno de los principales ensayos mecánicos realizados en las industrias manufactureras y de materiales, sin embargo, requieren de una gran inversión tanto por la maquinaria requerida como la fabricación de elementos extras que serán destruidos una vez finalizadas las pruebas. Mediante los ensayos de tracción se determina el diagrama de tensión-deformación del material, el cual explica mediante distintas etapas el comportamiento que sufre el material a medida que se aplica la carga.

Se puede clasificar a un material como dúctil o frágil dependiendo de la capacidad para sufrir o no deformación plástica. El comportamiento de un material va a variar dependiendo del entorno en el que se encuentre. Es por eso, que debemos conocer en qué condiciones de servicio se va a trabajar, así podremos elegir un material el cual asuma un óptimo desempeño (Aceros Levinson, 2020)

Entre los datos mecánicos que se obtienen del ensayo de tracción existen: La cedencia o límite elástico es el esfuerzo máximo que soporta el material antes de sufrir deformaciones permanentes; la fuerza de tensión es el esfuerzo máximo que soporta el material antes de fracturarse; la elongación es el porcentaje de alargamiento que sufre la muestra; la reducción del área de la muestra.

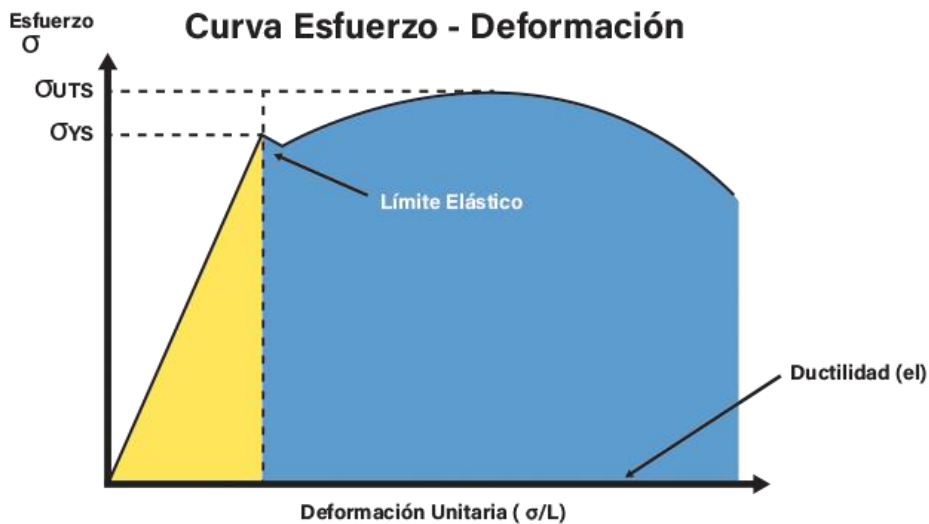


Figura 10. Curva esfuerzo-deformación obtenida de las pruebas de tracción.
Fuente: aceroslevinson.com/ (2020).

2.2.10.2 Ensayo de impacto

Las pruebas de impacto permiten determinar la fuerza necesaria para romper un material, para posteriormente medir la energía necesaria para la fractura y obtener la profundidad de la grieta en el material. Existen dos pruebas utilizadas para medir la resistencia al impacto de los materiales: La prueba de impacto Charpy determina la energía requerida para fracturar el material mediante el impacto de un péndulo a una altura determinada y así poder calcular la energía de la altura.

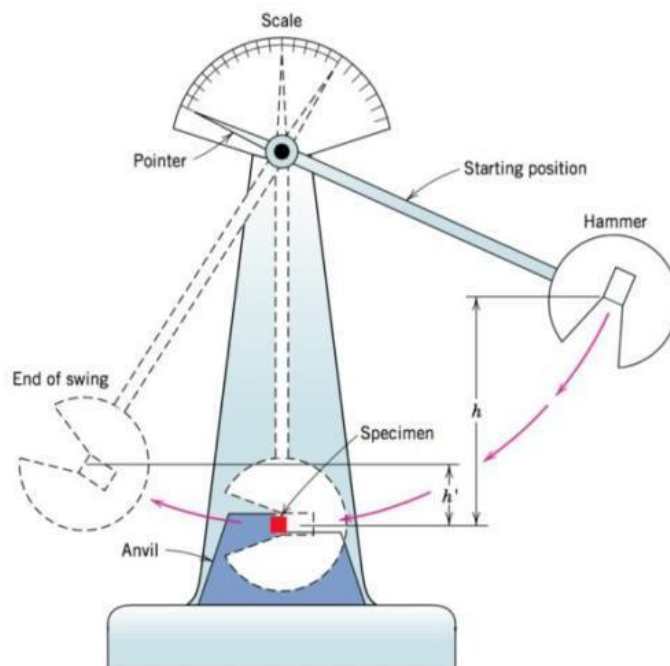


Figura 11. Péndulo utilizado en el ensayo de impacto Charpy.
Fuente: rapiddirect.com/ (2023).

La prueba de impacto IZOD también se realiza mediante el impacto de un péndulo en la superficie del espécimen, donde los martillos utilizados en los péndulos pueden ejercer una energía de impacto de entre 0.5 y 5 J con velocidades de hasta 3.5 m/s, además, si la probeta no sufre una rotura se procede a utilizar un martillo de mayor energía hasta que se observe el fallo de la pieza.

2.2.10.3 Ensayo de torsión

Similar al ensayo de tracción, los ensayos de torsión se utilizan para evaluar la resistencia de los materiales cuando se encuentran bajo torsión por el desplazamiento angular, arrojando resultados en forma de una gráfica curva de fuerza de desplazamiento que refleja condiciones como el módulo de elasticidad en cizallamiento, la resistencia al cizallamiento elástico, el módulo de rotura y la ductilidad.

Las pruebas de torsión son necesarias cuando los ingenieros desean cambiar o actualizar los materiales utilizados en estos productos. Por ejemplo, el metal utilizado en los trenes de transmisión de vehículos experimenta una carga combinada compleja cuando está en uso, siendo la torsión el componente principal. Un ingeniero que intente diseñar un vehículo que ahorre más combustible puede necesitar cambiar el material del eje de transmisión para reducir el peso del vehículo (Metalinspec)

2.2.11 Software de simulación (CAE)

Un software de simulación o CAE (Computer Aided Engineering por sus siglas en inglés) es un sistema informático que tiene como finalidad suministrar los implementos tecnológicos para llevar a cabo modelaciones de un proceso determinado. Basa sus funciones en elementos matemáticos que constituyen su programación y que se pueden observar de distintas formas, de acuerdo con el tipo de modelación requerida. Este método ha alcanzado gran demanda en las industrias que desean optimizar sus procesos, buscando la excelencia sin tener que invertir tiempo ni dinero en pruebas de ensayos y error de manera física.

El software de simulación se puede utilizar para evaluar un diseño nuevo, diagnosticar problemas de un diseño existente y probar un sistema en condiciones que son difíciles de reproducir. El software de simulación calcula el comportamiento del modelo a medida que las condiciones evolucionan con el tiempo o a medida que se producen eventos. El software de simulación también incluye herramientas de visualización, tales como data displays y animación 3D, para contribuir a supervisar la simulación a medida que se ejecuta, por lo que para el trabajo presente resulta excelente en la realización de las distintas pruebas necesarias para asegurar el correcto funcionamiento y demostración de las mejoras que ofrece el diseño propuesto.

2.2.12 Método de elementos finitos (FEM)

El método de los elementos finitos es uno de los métodos más usados en ingeniería y física para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales. Aunque puede usarse en cálculos a mano, es cuando se utilizan computadoras cuando permite la resolución de problemas sobre geometrías complicadas. La variedad de problemas a los que puede aplicarse es enorme, se usa en el diseño y mejora de productos y aplicaciones industriales, así como en la simulación de sistemas físicos y biológicos complejos. En ingeniería permite cálculos tan diversos como tensiones, fluidodinámica, transferencia de calor y demás.

Los elementos finitos se conectan mediante puntos o nodos que se comportan dependiendo de un número finito de parámetros asignados a cada uno. El conjunto de nodos forma lo que se denomina malla, la cual se divide en celdas utilizadas para el cálculo de variables como velocidad, presión. Flujo, entre otras; las mallas pueden estar formadas por celdas planas de 4 lados (bidimensionales) o por celdas volumétricas de 6 lados (tridimensionales), donde cada una de las celdas se enumera con los índices (i, j, k). La resolución de estas ecuaciones matemáticas que rigen el comportamiento físico no arrojará un resultado exacto, sino una aproximación de acuerdo con la malla, una mayor cantidad de nodos y una malla con más elementos permitirán una aproximación más precisa de los resultados.

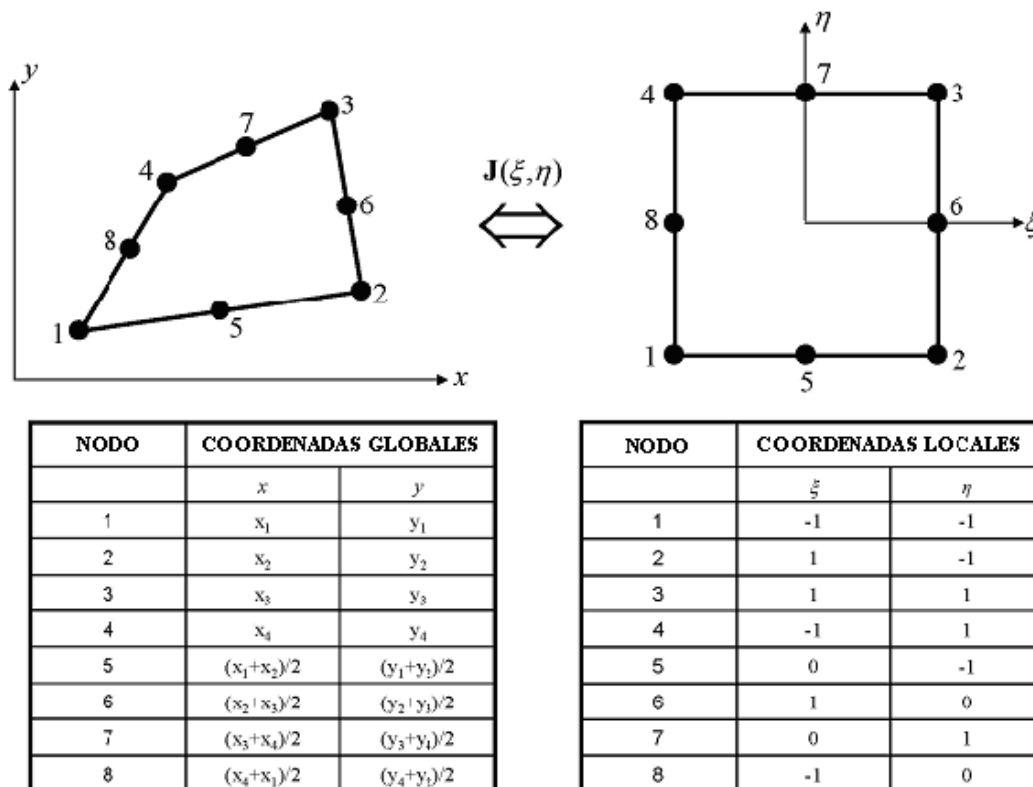


Figura 12. Elemento cuadrilátero presentado por 8 nodos con sus coordenadas.

Fuente: scielo.org/ (2023).

2.2.13 Diseño Asistido por Computadora (CAD)

El diseño asistido por computadora (Computer-Aided Design por sus siglas en inglés) consiste en el uso de programas y herramientas computacionales para crear, modificar, analizar, experimentar y documentar las representaciones realizadas en dichos programas, ya sean representaciones bidimensionales o tridimensionales de objetos físicos, reemplazando los borradores y los prototipos físicos. El diseño asistido por computadora es utilizado en distintos sectores de la industria, sobre todo en las ingenierías civil, aeronáutica, automoción y demás.

Esta tecnología permite la agilización del trabajo, automatizando los procesos manuales del proceso de diseño de producto, reduciendo errores, ganando velocidad y aumentando la calidad. Con esto las empresas consiguen así una mayor eficacia y productividad, puesto que permite visualizar de manera previa el producto final y además jugar de una forma interactiva con diferentes diseños, sin necesidad de crear un número elevado de prototipos. En el momento en el que se interpretan dichos dibujos técnicos y se crean instrucciones para que las máquinas puedan crear los productos, aparece el software de fabricación asistida por ordenador, conocido por las siglas CAM, del inglés Computer-Aided Manufacturing, software que hace puente con el CAD, muy utilizado en el sector del mecanizado y la máquina herramienta. (Integral Innovation Experts,2019).

2.2.14 Automóvil deportivo

Un automóvil deportivo se diferencia de los automóviles normales ya que fueron pensados y diseñados para ofrecer un desempeño y características superiores al promedio del automóvil regular, características como tiempo reducido de aceleración, velocidades máximas elevadas, más caballos de potencia y demás. Los autos que pertenecen a este segmento cuentan con un tratamiento especial en diferentes puntos de la carrocería, empezando por la suspensión, en los frenos, algunos con una altura al piso reducida, ajustes en la dirección y por supuesto un diseño aerodinámico el cual juega un papel importante en su desempeño. Estos modelos pueden considerarse dentro de competiciones de automovilismo por su estética o sus prestaciones mecánicas.



Figura 13. Comparación del deportivo Honda Civic Type-R (A) con su versión sedán el Honda Civic LX (B).

Fuente: Jacquin, A. (2024).

2.2.15 Nissan Z (RZ34)

El Nissan Z es un automóvil deportivo desarrollado por el fabricante Nissan y lanzado el Marzo de 2022, siendo la séptima generación del Fairlady Z. Basado en la ficha técnica del Cuadro 1 una longitud total de 4379 *mm*, un ancho de 1844 *mm*, una altura de 1316 *mm* y una distancia entre ejes de 2550 *mm*, todo esto con un peso de entre 1581 a 1634 *kg* dependiendo del modelo. Cuenta con elementos reminiscentes de modelos anteriores como parte frontal similar al Datsun 240Z, un motor V6 de 3.0 litros proveniente del Infiniti Q60 Red Sport 400 brindando 400 caballos de fuerza y ubicado en la parte delantera del vehículo, y contando con el chasis del 370Z de la generación anterior. Según la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency) el consumo del Nissan Z es de 19 millas por galón en ciudad y 28 millas por galón en autopista, con mucho potencial para ser mejorado.



Figura 14. Imagen promocional del Nissan Z.

Fuente: nissanusa.com/ (s.f).

Ficha Técnica del Nissan Z	
Clasificación	Deportivo de 2 asientos
Motor	VR30DDTT 3.0L V6 Twin Turbo
Sistema de combustible	Inyección directa de gasolina
Caballos de fuerza	400 hp a 6400 rpm
Torque	350 lb-ft entre 1600-5600 rpm
Tanque de combustible	62 L (16.4 gal)
Consumo de combustible	8,5 Km/L (20 mpg)
Tipo de chasis	Monocasco
Material del chasis	Acero de alta resistencia
Material de la carrocería	Aluminio
Distancia entre ejes	2550 mm (100.4 pulg)
Longitud total	4379 mm (172,4 pulg)
Anchura total	1844 mm (72,6 pulg)
Altura total	1316 mm (51,8 pulg)
Elevación sobre el suelo	121,9 mm (4,8 pulg)

Cuadro 1: Ficha Técnica del Nissan Z.

Fuente: Jacquin, A. (2024).

2.2.16 Capó o cofre

El capó o cofre de un automóvil es una parte de la carrocería que se encuentra en la parte delantera del auto, cuya función principal es cubrir y resguardar el motor o demás componentes mecánicos del vehículo mediante el uso de un sistema de bisagras para acceder a él a la hora de realizar mantenimiento o limpieza. Los capós suelen estar fabricados a partir de acero o de aluminio, éste último absorbe mejor los impactos que el acero y, a su vez, es más ligero.

Hay ocasiones donde los cofres están hechos de fibra de vidrio o en fibra de carbono para proporcionar mayor ligereza al vehículo, sobre todo en automóviles más deportivos como se puede apreciar en la Figura 15. El capó de vehículos más deportivos y, por lo tanto, más potentes, puede necesitar la instalación de una entrada de aire con mayor tamaño que uno normal para ayudar a la refrigeración del motor.



Figura 15. Comparativa entre el capó del Porsche 911 GT2 RS (A) y su versión de competición el Porsche 911 GT2 RS Clubsport 25 (B).

Fuente: Jacquin, A. (2024).

2.2.17 Análisis de siniestros

Los accidentes en el mundo automotriz han sido centros de debate desde la creación del automóvil, actualmente tanto los automóviles como las vías presentan medidas de seguridad en caso de accidente. El desarrollo de muros absorbentes de impactos mediante neumáticos o goma espuma son los más comunes hoy en día, el uso de materiales deformables en la carrocería del vehículo permite una reducción de la carga cinética que se transfiere al pasajero en el momento de un impacto mediante distribución de fuerzas y un mayor tiempo de absorción de energía. Previo al lanzamiento de cualquier vehículo, se deben realizar cálculos y pruebas destinadas a reproducir un accidente y cómo se comporta el automóvil frente a estos, desde impactos frontales contra barreras rígidas, impactos laterales y demás.

A la hora de reconstruir un accidente de tráfico, el análisis de los daños y las deformaciones de los vehículos es una pieza principal en el estudio del perito reconstructor. Estas deformaciones nos ayudarán a aplicar unos métodos energéticos de análisis que permitirán determinar la dinámica del accidente (Ipsum, 2020).



Figura 16. Siniestro del automóvil Nissan Z en Canadá.
Fuente: carscoops.com/ (2023).

2.2.17.1 Método de Kenneth L. y Raymond McHenry

El análisis de la deformación de un vehículo frente a un impacto inició con los estudios de Kenneth L. Campbell, a través de múltiples ensayos estableció el siguiente modelo numérico:

$$V = b_0 + b_1 * d \quad (15)$$

Donde V es la velocidad de impacto, b_0 es el coeficiente de deformación elástica del material, b_1 el coeficiente de deformación plástica y d la profundidad de deformación. Esta

teoría fue utilizada posteriormente por Raymond McHenry, el cual extrapoló la relación de proporcionalidad entre deformación y velocidad a otra entre fuerza y deformación, estableciendo que:

$$F = A + B * d \quad (16)$$

Donde F es la fuerza de deformación, A el coeficiente de deformación elástica, B el coeficiente de deformación plástica y d la profundidad de la deformación. A partir de este modelo, podemos encontrar la velocidad equivalente de barrera o EBS, donde se trata de un impacto frente a una barrera fija que no absorbe energía.

$$EBS = v_1 = \sqrt{\frac{2 * E_1}{M_1}} \quad (17)$$

Donde v_1 es la velocidad de colisión contra la barrera fija indeformable, E_1 es la energía de deformación y M_1 es la masa del vehículo. Es importante subrayar que su modelo solo permite obtener resultados precisos en el caso de colisiones frontales con un 100% de superposición; Si no conocemos la velocidad, pero si la energía, se igualan las expresiones de energía cinética y energía absorbida:

$$\frac{1}{2}m * v^2 = E_a \rightarrow \frac{1}{2}m * (EBS)^2 = E_a \rightarrow (EBS)^2 = \frac{2 * E_a}{m} \quad (18)$$

2.2.17.2 Método analítico de Rudolf Limpert

Este método fue desarrollado por el ingeniero estadounidense Rudolf Limpert perteneciente a la NHTSA, quien reconstruyó más de 3.500 accidentes. Existen diferentes ecuaciones mediante este método, las cuales varían dependiendo del tamaño del vehículo y el tipo de colisión. Para colisiones frontales y turismos pequeños:

$$V_{colisión} = -5.18 + 23.55\sqrt{D_{med} + 0.048} \pm 4.4 * D_{med} \quad (19)$$

Para turismos medianos:

$$V_{colisión} = -6.34 + 26.36\sqrt{D_{med} + 0.066} \pm 4.4 * D_{med} \quad (20)$$

Para turismos grandes:

$$V_{colisión} = -10.10 + 30.85\sqrt{D_{med} + 0.106} \pm 4.4 * D_{med} \quad (21)$$

Para colisiones traseras de todos los turismos:

$$V_{colisión} = 19.94 * D_{med} + 1.19 \pm 4.4 * D_{med} \quad (22)$$

Para colisiones laterales de todos los turismos:

$$V_{colisión} = 24.63 - 131.26\sqrt{D_{med} - 3.53} \pm 4.4 * D_{med} \quad (23)$$

Donde la velocidad de colisión se encuentra en m/s y la deformación media en metros.

2.3 Teoría Central de la Investigación

2.3.1 Teoría de la energía de distorsión de Von Mises

El criterio de Von Mises o de energía máxima de distorsión es un criterio de resistencia estática aplicado a los materiales dúctiles, donde un material dúctil sufrirá una ruptura o fallo elástico cuando la distorsión elástica (o tensión de Von Mises) supera o iguala el límite de tensión del material, una vez ocurre esto el elemento sufre una contracción de su sección transversal. Esto se obtiene en los ensayos de tracción, donde se registra la tensión y la deformación que sufre la pieza antes de su ruptura, dicha resistencia no depende del tamaño de la pieza si no de las propiedades del elemento, las cuales pueden ser modificadas mediante tratamientos de calor, defectos superficiales y demás. Tal tensión se mide en unidades de fuerza sobre área, en el sistema internacional se utilizan los pascales o newton por metro cuadrado (N/m^2).

Esta teoría defiende que a la energía total de deformación se le puede restar la energía utilizada para producir solamente un cambio de volumen, así la energía resultante corresponde solamente a la energía de distorsión.

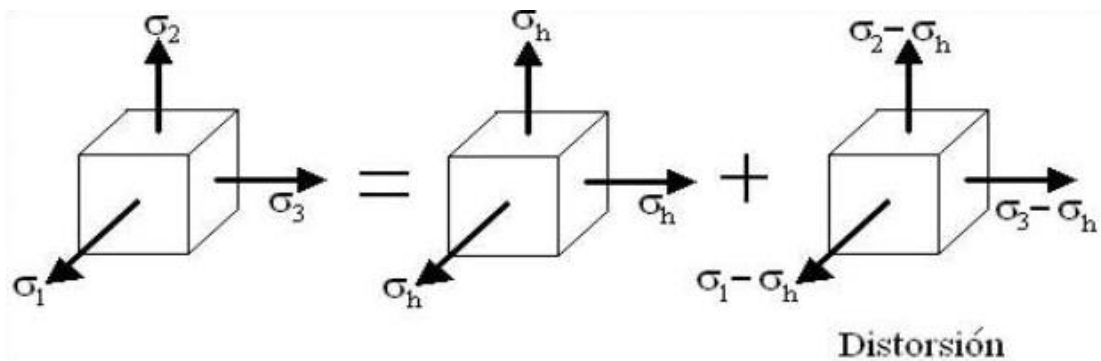


Figura 17. Teoría de energía de distorsión bajo un esfuerzo triaxial.
Fuente: wordpress.com/ (2016).

Para obtener la energía de distorsión se utiliza la siguiente ecuación:

$$u_d = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} = \frac{1 + \mu}{3e} \quad (24)$$

$$S_y^2 = \frac{1 + \mu}{3e} \quad (25)$$

Donde u_d es la energía de distorsión, σ_1 , σ_2 y σ_3 son los esfuerzos que actúan en distintos ejes, S_y es el límite de fluencia del material y e es la elongación. La energía de

distorsión es nula si $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$. Un ensayo de tracción simple tiene los siguientes esfuerzos: $\sigma_1 = S_y$ y $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$. Si igualamos la ecuación (21) y (22) obtenemos:

$$2S_y^2 = (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \quad (26)$$

Esto define la iniciación de fluencia para un estado de esfuerzo triaxial. Si $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 0$ el esfuerzo es biaxial. Si existe un σ_A mayor a σ_B y distintos de ceros, la ecuación (25) se reduce a:

$$S_y^2 = \sigma_A^2 - \sigma_A\sigma_B + \sigma_B^2 \quad (27)$$

En el caso de torsión pura $\sigma_B = -\sigma_A$ y $\tau = \sigma_A$, siendo τ el esfuerzo cortante. Se obtiene que:

$$S_{sy} = 0,577S_y \quad (28)$$

Para estudios de análisis de diseño conviene definir el concepto de esfuerzo de Von Mises a partir de la ecuación (24), como:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_A^2 - \sigma_A\sigma_B + \sigma_B^2} \quad (29)$$

Siendo la ecuación para el esfuerzo triaxial:

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (30)$$

2.3.2 Teoría Cinética Molecular

La teoría cinética molecular consiste en el comportamiento cinético de las moléculas de un elemento. Esta teoría ayuda a comprender el comportamiento de la materia a nivel molecular cuando está sujeta a ganancia o pérdida de calor, a medir el calor y sus efectos, los cambios de fase o las escalas de temperatura. El aire como fluido se ve afectado directamente por la temperatura, al aumentar la temperatura las moléculas que lo componen se dispersan por el aumento de energía cinética y de velocidad que adquieren, reduciendo la densidad del aire. Si la temperatura disminuye, las moléculas ocupan menor espacio entre ellas y la densidad del aire aumenta.

La energía cinética de una partícula viene dada por:

$$KE = \frac{m * v^2}{2} \quad (29)$$

Donde m es la masa de la partícula y v la velocidad que lleva. Al expresar la masa en kilogramos y la velocidad en metros por segundo se obtienen valores de energía en unidades

de julios ($J = \frac{Kg m^2}{s^2}$). Para tratar un gran número de moléculas de gas, utilizamos promedios tanto para la velocidad como para la energía cinética. La velocidad media cuadrática de una partícula se define como:

$$v_{rms} = \sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + \dots}{n}} \quad (31)$$

Siendo n el número de partículas. La energía cinética media para un mol de partículas es igual a:

$$KE_{promedio} = \frac{M * v_{rms}^2}{2} \quad (32)$$

Donde M es la masa molar expresada en unidades de kg/mol. La $KE_{promedio}$ de un mol de moléculas de gas también es directamente proporcional a la temperatura del gas y puede describirse mediante la ecuación:

$$KE_{promedio} = \frac{3 * R * T}{2} \quad (33)$$

Donde R es la constante del gas y T es la temperatura kelvin. Cuando se utiliza en esta ecuación, la constante de los gases es $8,314 \frac{J}{Mol * K}$ ($8,314 \frac{Kg m^2}{s^2 * Mol * K}$). Estas dos ecuaciones separadas para $KE_{promedio}$ pueden combinarse y reordenarse para obtener una relación entre la velocidad molecular y la temperatura:

$$\frac{M * v_{rms}^2}{2} = \frac{3 * R * T}{2} \quad (34)$$

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3 * R * T}{M}} \quad (35)$$

Con la ayuda de las ecuaciones anteriores obtendremos una mejor comprensión de cómo el aire, la velocidad del mismo y la temperatura a la que se encuentra influye en los elementos de un vehículo, buscando mediante distintas pruebas el diseño óptimo.

2.4 Bases Legales

Existen muchas leyes y regulaciones dentro del diseño automotriz, cada mercado tiene sus regulaciones y formas de aprobarlas dependiendo de varios aspectos como altura, equipamiento estándar, detalles exteriores y demás. Sin embargo, todos los reglamentos vehiculares sustentados por programas como el Programa de Evaluación de Automóviles

Nuevos (New Car Assessment Program o NCAP) tienen bases obligatorias para el diseño, fabricación y verificación de cualquier automóvil lanzado al mercado. Por lo que a continuación, se nombrarán los parámetros a tomar en cuenta durante la realización de este trabajo:

2.4.1 Regulaciones de diseño del capó

El capó puede tener bisagras en el borde delantero o trasero, o en modelos anteriores. Puede dividirse en dos secciones, una a cada lado, cada una con bisagras a lo largo de la línea central. Otra variante combina el capó y los pasos de rueda en una sola sección y permite que toda la carrocería delantera se incline hacia adelante alrededor de un pivote cerca de la parte delantera del vehículo. El capó debe tener un diseño aerodinámico para permitir el flujo de aire a través de su superficie.

Las regulaciones vehiculares europeas dictan que todas las esquinas que se encuentren en las superficies frontales y traseras del vehículo deben tener un radio mayor a 0.2 pulgadas, mientras que el resto de las partes expuestas del vehículo puede tener radios mayores a 0.1 pulgadas. Esta regulación se observa más que nada en las parrillas del vehículo, logos de la marca, retrovisores, manillas de las puertas y demás. El capó generalmente es usado para cubrir el motor, radiador y demás partes del auto, por ende, el capó debe ser diseñado de tal manera que permita el mantenimiento de aquello que contenga y, como función secundaria, debe ser capaz de reducir los ruidos del motor.

2.4.2 Regulaciones de seguridad

Las regulaciones de seguridad para los autos se han vuelto mucho más estrictas por causa del aumento de fallecimientos y accidentes alrededor de todo el mundo, por ello se han creado sistemas de evaluación de seguridad del vehículo a la hora de un impacto que han sido implementadas alrededor de todo el mundo. Uno de estos sistemas de evaluación es el programa europeo de evaluación de nuevos autos o NCAP (New Car Assessment Program por sus siglas en inglés) el cual publica reportes de seguridad en nuevos autos, coloca calificaciones por estrellas basadas en el desempeño de los vehículos en las pruebas de choque, incluyendo delantero, lateral, contra postes e impactos contra peatones.

Uno de los criterios más importantes es la seguridad de los ocupantes del vehículo a la hora de un impacto frontal, es por ello, al recibir el impacto, el capó debe deformarse para disipar la energía del impacto hacia los costados para no herir a los pasajeros, esta energía se redirige hacia los pilares, el techo o los costados del vehículo.

2.5 Definición de términos

Aerodinámica: Parte de la mecánica que estudia el movimiento de los gases sobre cuerpos estáticos y cuerpos móviles en el aire.

Automovilismo: Deporte que consiste en participar en pruebas de velocidad, habilidad o resistencia conduciendo un automóvil.

Carrocería: Parte externa del automóvil que sujeta sus elementos mecánicos y donde reposan los pasajeros o la carga.

Impacto: Choque violento de un objeto en movimiento contra otro.

Paso por curva: Maniobra que se realiza cuando se está tomando una curva, después de haber frenado para girar y antes de enderezar el vehículo para acelerar.

Perfil aerodinámico: Forma que tiene el área transversal de un elemento que, al desplazarse por el aire, crea a su alrededor una distribución de presiones que genera sustentación.

Simulación: Herramienta utilizada para formular hipótesis o un conjunto de hipótesis. Es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital.

Sobreviraje: Fenómeno de deslizamiento del eje trasero que puede ocurrir en un automóvil al tratar de tomar una curva o cuando ya está girando.

Subviraje: Fenómeno que provoca que el giro de automóvil sea menor al que teóricamente deben inducir las ruedas delanteras.

Superficie: Magnitud física que expresa la extensión de un cuerpo alrededor de 2 dimensiones, ancho y largo.

Temperatura: Manifestación macroscópica de la energía cinética interna de un elemento o cuerpo.

Velocidad: Relación entre el espacio o la distancia que recorre un objeto y el tiempo que invierte en ello.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

La metodología de la investigación es el método sistemático en el cual el investigador realizará su estudio, esto se realiza mediante la recopilación de datos, el análisis e interpretación de estos, así como la conclusión de la investigación. El estudio metodológico se realiza para garantizar resultados válidos y fiables que respondan a los objetivos y la meta de la investigación. Según Arias (2016) “la investigación científica es un proceso metódico y sistemático dirigido a la solución de problemas o preguntas científicas mediante la producción de nuevos conocimientos, las cuales constituyen la solución o respuesta a tales interrogantes” (p.22).

El siguiente capítulo engloba la descripción y procedimiento de cada uno de los pasos y la metodología necesaria para llevar a cabo la investigación, especificando tópicos de importancia como; paradigma de la investigación, tipo de investigación, diseño de la investigación, nivel de la investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y las fases metodológicas del trabajo.

3.1 Paradigma de la investigación

El paradigma de la investigación se define por un conjunto o sistema de ideas para el estudio de una investigación, analizando características como la naturaleza del mismo, los problemas a estudiar, explicación e interpretación de las teorías en las que se basa y la comprensión de los resultados de la investigación. Según Marín (2007) “el paradigma sea crucial desde un punto de vista aplicativo, a la hora de determinar las maneras de concebir el mundo, lo cual se refleja en la formulación de leyes, lenguajes y valoraciones” (p.36).

Junto con el paradigma encontramos el enfoque de la investigación. Para Hernández, Fernández y Baptista (2010) en su obra Metodología de la Investigación, sostienen que “todo trabajo de investigación se sustenta en dos enfoques principales: El enfoque cuantitativo y el enfoque cualitativo” (p.7).

Con lo expuesto anteriormente podemos concluir que el presente trabajo de investigación tiene un paradigma tecnológico, ya que el objetivo de la investigación es mejorar el desempeño del auto deportivo Nissan Z mediante la implementación de materiales con propiedades que beneficien los rasgos débiles del capó y modificar el perfil del mismo, uno de sus componentes más importantes y de los que más influyen en el rendimiento del vehículo.

3.2 Tipo de Investigación

Los tipos de investigación son las diferentes formas en las que se puede abordar un estudio, de acuerdo con las características propias del mismo como título, objetivos, profundidad, temas a desarrollar, datos a tomar en cuenta, su ubicación en el tiempo y demás características.

La investigación implica el descubrimiento de algún aspecto de la realidad o la producción de un nuevo conocimiento, el cual puede estar dirigido a incrementar los postulados teóricos de una determinada ciencia o puede tener una aplicación inmediata en la solución de problemas prácticos (Arias, 2016, p.21).

Cuando se va a resolver un problema en forma científica, es muy conveniente tener un conocimiento detallado de los posibles tipos de investigación que se pueden seguir. Este conocimiento hace posible evitar equivocaciones en la elección del método adecuado para un procedimiento específico (Tamayo y Tamayo, M. 2003, p.43).

Con lo expuesto anteriormente, podemos establecer que la investigación presente es del tipo proyecto factible, debido a que se busca proponer una opción viable en el material utilizado en la fabricación de automóviles deportivos, además de mejorar la practicidad a la hora de poner a prueba dichos materiales utilizando herramientas computacionales.

3.3 Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación consiste en un conjunto de métodos o técnicas que adopta el investigador para poder concretar las incógnitas presentes en un experimento, trabajo o proyecto.

El diseño es la estructura a seguir en una investigación, ejerciendo el control de la misma, a fin de encontrar resultados confiables y su relación con los interrogantes surgidos de los supuestos e hipótesis-problema. El diseño también es un planteamiento de una serie de actividades sucesivas y organizadas, que pueden adaptarse a las particularidades de cada investigación y que nos indican los pasos y pruebas a efectuar y las técnicas a utilizar para recolectar y analizar los datos (Tamayo y Tamayo M, 2003, p.108).

Para identificar el diseño, la investigación se clasifica en: documental, de campo y experimental. El diseño de investigación está definido por Arias como: “El origen de los datos: primarios en diseños de campo y secundarios en estudios documentales; La manipulación o no, de las condiciones en los cuales se realizó el estudio: diseños experimentales y no experimentales o de campo” (2016, p.27). Cabe aclarar que los datos son primarios cuando se

obtienen directamente de la realidad y son secundarios cuando estos han sido procesados por otra investigación.

Tras lo anteriormente expuesto se puede determinar que la presente investigación posee como datos primarios los obtenidos dentro de la simulación experimental por medio de las herramientas de simulación de sólidos, pero a su vez posee datos secundarios, como las propiedades y características de los diferentes materiales, que son recolectados de manera bibliográfica en los diferentes foros y trabajos realizados con temática de diseño automotriz, como forma de comparación directa en la investigación. Se establece que el diseño de la investigación presente califica como una investigación documental, ya que se obtienen datos y propiedades presentes en investigaciones o recursos bibliográficos, además de los datos experimentales dados por el software de simulación de sólidos.

3.4 Nivel de la Investigación

Durante el desarrollo de la investigación se van acumulando diferentes conocimientos y variables a analizar, por lo que el nivel de complejidad y profundidad del trabajo aumenta proporcionalmente junto con lo anteriormente mencionado. A este grado de conocimiento que se obtiene del problema o investigación se le denomina nivel de la investigación, según Arias (2016) El nivel de investigación se refiere al “grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio” (p.23). Arias divide los niveles de investigación en exploratoria, descriptiva y explicativa, pudiendo existir combinaciones entre los diferentes niveles.

La investigación descriptiva debe adecuarse en un momento temporal y geográfico determinado, donde, una vez ubicados, se describirán los hechos o acontecimientos del campo en que se base la investigación. Además, la investigación descriptiva presenta la estadística como una herramienta para cumplir sus objetivos mediante la comparación de medias, frecuencias y demás datos.

La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de conocer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere (Arias, 2016, p.24).

Con esto presente, la investigación basada en diseñar un capó de fibra de carbono y someterlo a diferentes simulaciones junto con otros diseños de diferentes materiales y formas, entra en la categoría de investigación descriptiva, debido a que su principal objetivo es estudiar las variables internas y externas que afectan a las diferentes características de la fibra de carbono y cómo éstas se pueden aprovechar en la fabricación de capós deportivos.

3.5 Población y Muestra

Para Hernández, Fernández y Baptista la población es “el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones” (1998, p.262). También definen que “la muestra es, en esencia, un subgrupo de la población. Digamos que es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población.” (1998, p.263).

La presente investigación tiene como población el conjunto de capós fabricados en aleaciones de aluminio y en fibra de carbono utilizados en los autos deportivos de diferentes marcas, para poder recopilar datos en la variedad de perfiles y las mejoras en el desempeño que ofrecen los distintos fabricantes de autos deportivos; entre ellos están los capós de los modelos deportivos anteriores del fabricante Nissan, los cuales incluyen los modelos 350z, 370z, Gt-R y demás. La muestra a utilizar es el capó actual que presenta el modelo Z (RZ34), el cual es el mismo en las versiones sport, performance y Nismo que ofrece Nissan, por lo que el capó a diseñar puede ser utilizado en todos los modelos sin modificaciones necesarias para su implementación.

3.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Una técnica o instrumento de recolección de datos consiste en una herramienta de la cual se vale un investigador para obtener información que le permita desarrollar su proyecto investigativo. Su principal función es la de extraer o construir datos de primera mano de la población o los fenómenos que se desean conocer. A su vez, deben ser sistemáticos y organizados, característica esencial estrechamente vinculada con la utilidad y fiabilidad de la información recolectada para su posterior análisis.

Se entenderá por técnica de investigación, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información. Ahora bien, la aplicación de una técnica conduce a la obtención de información, la cual debe ser guardada en un medio material de manera que los datos pueden ser recuperados, procesados, analizados e interpretados posteriormente. A dicho soporte se le denomina instrumento (Arias, 2016, p.67).

Las técnicas que pueden utilizarse para la recolección de datos son específicas de diferentes áreas o disciplinas científicas, trabajando en conjunto con el método científico, el cual es aplicable en una multitud de ramas, y siguiendo una serie de tareas para cumplir con un objetivo en particular. Con lo anteriormente expuesto, se procede a especificar las diferentes técnicas e instrumentos de recolección de datos que se utilizarán dentro de la investigación presente.

3.6.1 Revisión de documentos

El trabajo utiliza la revisión de documentos, Hurtado afirma que “una revisión documental es una técnica en donde se recolecta información escrita sobre un determinado tema, teniendo como fin proporcionar variables que se relacionan indirecta o directamente con el tema establecido” (2008).

Esta técnica es la más prevalente en el trabajo presente, ya que los datos a utilizar para el cumplimiento de los objetivos son provenientes de fuentes bibliográficas. Las fuentes bibliográficas utilizadas abarcan desde libros de textos en el área de diseño automotriz, materiales, artículos y páginas web de diferentes fabricantes, investigaciones previas, cursos y tutoriales acerca de los softwares como SolidWorks. Publicaciones de las leyes que dictaminan el diseño de automóviles, pruebas de seguridad y características de los materiales con los que se trabaja, son primordiales para poder cumplir con las especificaciones del diseño automotriz.

Toda la información recaudada de la revisión de documentos digitales o bibliográficos, como lo son manuales, revistas, investigaciones previas, especificaciones del fabricante o páginas de internet, que aporten en el desarrollo del estudio será plasmada en cuadernos de notas y documentos de los programas Word y Excel en forma de párrafos, tablas, citas, análisis y conclusiones.

3.7 Técnicas de Análisis de Datos

Los datos a manejar en la presente investigación son del ámbito cuantitativo, es decir, son elementos numéricos y ordenables, además de relacionar las distintas variables para conseguir, de manera argumentada, deducciones más complejas y objetivas que el conjunto de datos obtenidos de la muestra. Entre las herramientas que se utilizarán en el presente estudio se encuentra el diagrama de Ishikawa, que consiste en agrupar las relaciones entre las causas y efectos que derivan de un proceso y así obtener una visión más global y estructurada del problema a enfrentar; y la matriz Foda, la cual engloba las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas que presenta el estudio y cómo lidiar con ellas para obtener el resultado esperado.

3.8 Fases Metodológicas

Las investigaciones que utilicen el método científico deben ser divididas en una serie de fases que representan una correlación con los objetivos planteados en la investigación, para que en conjunto puedan cumplir con un objetivo general. De esta forma el investigador puede enfocarse en ciertas áreas del trabajo de manera progresiva y sistematizada, administrando correctamente los recursos como tiempo, esfuerzo y demás que son invertidos.

Fase I: Diagnóstico de los problemas existentes en el capó original del deportivo Nissan Z.

La primera fase constará de un diagnóstico preciso del capó actual del modelo Nissan Z. Empezando por su material de construcción el capó está hecho de aluminio, material muy común en la fabricación de automóviles debido a sus excepcionales propiedades y capacidad de manufactura, aunque este material es utilizado por diferentes marcas aparte de Nissan, podemos observar que otras marcas de lujo y desempeño como Koenigsegg, Bugatti, Ferrari o Lamborghini están utilizando fibra de carbono, esto gracias a que cumple y supera las propiedades del resto de materiales junto con una mayor ligereza debido a la densidad del material, haciéndolo el siguiente material tecnológico en la fabricación de automóviles. Esto junto con que el capó del modelo deportivo original tiene un perfil simple que, sin duda alguna, cumple con su objetivo de proteger el motor, se le pueden realizar mejoras en el perfil para mejorar sus capacidades aerodinámicas o en la eficiencia de combustible.

Fase II: Análisis de las variables externas e internas que influyen en el diseño de un capó de fibra de carbono para el auto deportivo Nissan Z.

Esta fase hará uso los instrumentos de recolección de datos para ir construyendo las bases de la investigación, los datos con más peso dentro de esta investigación son las variables internas, ya que abarcan las propiedades de los materiales a utilizar en el diseño, las características que debe poseer el capó para poder brindar la seguridad y el desempeño deseado, las diferentes pruebas y la forma en la que se realizan dentro de los softwares de simulación; esto sin ignorar las variables externas como pueden ser el diseño del perfil, el entorno donde será puesto a prueba y demás. Es de vital importancia que se investigue acerca de trabajos o diseños anteriormente propuestos que tengan correlación directa con la investigación presente, los cuales deben tener resultados acerca de las dimensiones que se utilizaron y las propiedades que presentaron una vez puestos a prueba.

Fase III:

A medida que se define correctamente las medidas y ajustes del capó, las variaciones anteriormente mencionadas influyen directamente en el perfil final que se quiere obtener, ya que cualquier cambio que se quiera realizar dentro del diseño ocasiona aumentos o disminuciones de las propiedades del mismo, por ejemplo, se desarrollará un diseño en fibra de carbono que tenga un perfil más aerodinámico, para lograrlo, se contará con la implementación de tomas de ventilación o curvas en la superficie del capó para distribuir el aire a una zona en específico, pero si no se realiza de manera correcta, el área modificada puede

tornarse en una zona crítica a la hora de un impacto, teniendo la obligación de balancear el diseño en términos mecánicos, aerodinámicos, térmicos y estéticos.

Fase IV: Diseño del capó de fibra de carbono seleccionado.

La cuarta fase de la investigación amerita la creación del capó dentro del software de diseño. Para lograr esto se utilizará uno de los varios softwares utilizados en la rama de diseño, SolidWorks, el cual es un software especializado para diseñar en 2D o 3D diferentes elementos mecánicos creados o importados por el autor, este software data de los finales de los 90 y ha brindado una inmensidad de ayuda a aquellos trabajos realizados en él, teniendo mucha precisión en los resultados que arroja y complementado por la sencillez de su interfaz y de la creación de elementos. Además, SolidWorks también aporta una serie de herramientas de simulación para poner a prueba las propiedades del elemento creado.

Fase V: Evaluación de la viabilidad técnica, operativa y económica del diseño realizado.

Una vez realizado el diseño dentro del software de SolidWorks, se procederá a tomar dicho diseño y someterlo a pruebas de flexibilidad, resistencia al impacto, dureza y transmisión de calor dentro del mismo software, pero en su apartado de simulación de sólidos. Estas pruebas son realizadas en los modelos de automóviles convencionales para garantizar la seguridad de los individuos dentro de un posible accidente y para cumplir con normativas de contaminación y rendimiento. Tras realizar las pruebas en el software de simulación, se adjuntarán los resultados arrojados dentro de una tabla para su observación clara, dichos resultados se presentan de forma numérica y estadística uno al lado del otro para poder evaluar objetivamente las ventajas y desventajas que posee el diseño frente al original. Tras el análisis se establecerán las capacidades técnicas, operacionales, ambientales y económicas que ofrece el capó.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En el capítulo presente se desarrollarán las fases metodológicas desarrolladas con anterioridad en el capítulo III de la presente investigación. Mediante la utilización de diferentes métodos teóricos y prácticos analizaremos la viabilidad y mejoras que ofrece el rediseño del capó del auto deportivo Nissan Z en fibra de carbono y lo pondremos a prueba mediante softwares de diseño y simulación de sólidos.

4.1 Diagnóstico de los problemas existentes en el capó original del deportivo Nissan Z.

El modelo Z (RZ34) es de los vehículos más recientes de la marca Nissan, implementando nuevas tecnologías más sofisticadas para su manejo y un diseño distinto a las anteriores generaciones que brindan un aumento en su carga aerodinámica. Sin embargo, el modelo Z no es un vehículo totalmente nuevo, ya que comparte muchos elementos de generaciones pasadas, principalmente que comparte su chasis con la generación anterior, el 370z, además, el capó, puertas y maletero del Z están hechas de aluminio al igual que las del 370z, siendo el material el principal elemento a mejorar dentro del diseño.

4.1.1 Materiales de las puertas, capó y maletero.

Como se mencionó anteriormente, el modelo Z comparte el material de su carrocería con el 370Z, siendo las puertas, el maletero y el capó fabricadas en aluminio, aunque en el catálogo de especificaciones de ambos modelos no se detalla qué tipo de aluminio es, se pueden tomar distintas aleaciones y elegir aquella que cumpla mejor con los requerimientos.

La aleación de aluminio 3105 es utilizado en trabajos generales de chapa metálica que requieren mayor resistencia como lo pueden ser revestimientos residenciales, letreros y demás. Compuesto de un 98% de aluminio, 0.7% de hierro y 0.8 de manganeso, posee una densidad de 1.57 g/cm^3 y un módulo de elasticidad de 68 GPa es una de las aleaciones de aluminio más ligeras del mercado, desafortunadamente sufren de ruptura tras un 1% de elongación en las pruebas de tensión y con un grosor aproximado de 1.2 centímetros no es apto para su uso en la carrocería, preferiblemente se puede utilizar en piezas dentro del vehículo.

Otra opción a tener en cuenta es la aleación de aluminio 5005. El aluminio 5005 es una aleación de resistencia media con muy buena resistencia a la corrosión atmosférica y muy buena soldabilidad. Compuesto de 96% de aluminio, 1% de magnesio y 0.5% de hierro, obtiene una densidad de 2.7 g/cm^3 , un módulo de elasticidad de 69.5 GPa, un punto de

fusión de 650° y una resistencia a la tracción de 170 MPa aproximadamente. El aluminio 5005 posee buenas propiedades, pero aquella que más le perjudica es su resistencia a la tracción, resultando algo baja frente a otras aleaciones de aluminio y siendo de vital importancia frente a las cargas que se ve sometido un vehículo como las altas velocidades o los accidentes.

Por último, se toma en consideración las aleaciones de aluminio que pertenecen a la serie 6000, específicamente la aleación de aluminio 6009 o 6010 que se utilizan en los paneles de carrocería de vehículos. Estas aleaciones de aluminio forjado contienen aditivos de zinc, silicio, manganeso y bismuto; además de ser sometidas a distintos procesos térmicos, estas aleaciones tienen buena resistencia mecánica, elasticidad y capacidades térmicas. Aunque las propiedades de la aleación sean bastante buenas y serán expuestas en la siguiente fase, no se puede pasar en alto que es un material que se lleva utilizando casi década y media después de su implementación en el modelo 370z, por lo que existen numerosas opciones más actualizadas que brindan una mejor calidad para el vehículo por sus capacidades superiores.

4.1.2 Eficiencia y desempeño del vehículo.

El modelo Z surge como sucesor del 370z, considerado un deportivo asequible dentro de la industria, en este caso busca asentarse como modelo deportivo de gama media frente a sus competidores como Toyota o BMW, mediante el cambio a un motor biturbo V-6 de 400 caballos de fuerza, implementación de tecnologías como frenos de emergencia activados por sensores de peatones, modo de crucero adaptativo y sistema de transmisión automático de 9 velocidades o manual de 6 velocidades, con un precio inicial de 42.085\$ del modelo Z sport.

El Z presenta una aceleración de 0 a 60 millas por hora de 4.3 segundos, siendo una mejora considerable de los 5 segundos que le toma al 370z, pero tenemos que hacer un análisis más justo al respecto ya que el modelo anterior tiene un costo base de 30.895\$ y un motor naturalmente aspirado V-6 de 332 caballos de fuerza, por lo que un aumento de casi 12.000\$ resulta cuestionable en términos de desempeño. Otra comparación es de su competidor más reciente y directo, el Toyota GR Supra de 2022 con un motor de 6 en línea turbocargado que genera 382 caballos de fuerza y una transmisión automática de 8 velocidades que permitió al auto acelerar de 0 a 60 millas por hora en 3.7 segundos, a la par de competidores de renombre como Porsche, Chevy y BMW con sus deportivos de mayor gama, todo por el precio de 44.635\$.

También podemos observar que los motores del 370z y del Z son diferentes el uno del otro, aunque Nissan hizo un buen trabajo en mantener la eficiencia de combustible bastante similar. En las especificaciones del 370z y los testimonios de distintos propietarios se menciona que el vehículo tiene un rendimiento de 20 a 21 millas por galón en promedio, mientras que el

Z presenta una eficiencia de 18 a 19 millas por galón, un número bastante considerable teniendo en cuenta que se aumentaron casi 70 caballos de fuerza y que, con los cambios correctos que pueden realizarse en siguientes versiones, se podría aumentar la eficiencia de combustible.

El Z puede competir contra el resto de las marcas, pero se queda corto en términos de rendimiento, potencia y velocidad, con muchos aspectos a mejorar. El trabajo presente propone distintas mejoras que se pueden implementar en el vehículo mediante el uso de programas de diseño y simulación, como son los materiales de construcción y la optimización del perfil aerodinámico del automóvil.

4.2 Análisis de las variables externas e internas que influyen en el diseño de un capó de fibra de carbono para el auto deportivo Nissan Z.

El capó está sometido a distintos factores desde la ignición del vehículo. La temperatura a la que será sometido, las cargas aerodinámicas que manejará y la resistencia frente a impactos o cargas externas son algunos de los distintos factores que son analizados por los fabricantes de automóviles hoy en día. Dichos factores se rigen dependiendo del material con el que se trabaje, siendo en este caso el aluminio 6010 y la fibra de carbono, la cual detallaremos más a fondo durante el desarrollo de esta fase. A partir de estas propiedades podremos entender qué material se comporta mejor en diferentes situaciones, dándonos información de vital importancia para las fases restantes.

4.2.1 Comportamiento de los materiales.

El aluminio por su cuenta no es un elemento considerado para la construcción debido a su baja resistencia a la tracción y su baja dureza, pero presenta una buena maleabilidad. Sin embargo, una vez que se alea con distintos elementos, obtiene propiedades muy favorables para la industria y los ingenieros, siendo el caso de las aleaciones de aluminio 6000, las cuales están compuestas de un 96% de aluminio, 0.8% de manganeso, 1.2% de silicio y demás aleantes, ofreciendo una mejor dureza, resistencia, soldabilidad y maquinabilidad, siendo aplicado en procesos de extrusión y fabricación de perfiles de aluminio. La aleación de aluminio 6010 es la serie utilizada en la industria automotriz, específicamente en placas delgadas de la carrocería o en la fabricación de chasis. En la Tabla 1 se presentan algunas de las propiedades que presenta esta serie.

Propiedades	Sistema métrico	Sistema inglés
Densidad	2.71 g/cm^3	0.0979 lb/in^3
Módulo de elasticidad	69 GPa	10000 Ksi
Límite elástico	170 MPa	24700 Psi

Propiedades	Sistema métrico	Sistema inglés
Módulo cortante	26 GPa	3770 Ksi
Resistencia a la tracción	290 MPa	42100 Psi
Elongación hasta fallar	+24%	+24%
Módulo de Poisson	0.33	0.33
Conductividad térmica	151 W/(m * °C)	0.00202 Btu/(in * s * °F)
Calor específico	0.89 J/(Kg * °C)	0.2126 Btu/(lb * °F)
Punto de fusión	585-649 °C	1085-1200 °F

Tabla 1: Diferentes propiedades de la aleación de aluminio 6010-T4.

Fuente: Jacquin, A. (2024).

El aluminio ha sido uno de los materiales más utilizados en la fabricación de automóviles desde ya bastantes años, su relación costo/calidad resulta muy favorable en la rama de autos de gama baja con muy poco énfasis en el desempeño o velocidad del mismo. Como ya se expuso anteriormente, el modelo Z de Nissan resurge como el modelo deportivo de gama media de la marca y presenta ciertas deficiencias de la misma gama, siendo el aluminio un punto a mejorar en el coche.

Como alternativa más comúnmente utilizada en esta gama de automóviles y llegando incluso a la gama de hiper-deportivos se encuentra la fibra de carbono, especialmente la fibra de carbono seca pre-impregnada, la cual posee propiedades muy superiores al resto de materiales utilizados en el automovilismo, desafortunadamente los fabricantes de automóviles no especifican exactamente el modelo de fibra de carbono utilizado en sus vehículos, por lo que en el trabajo presente se debe seleccionar una fibra de carbono existente en el mercado.

Muchas de las fibras de carbono en el mercado no exponen las capacidades del material de forma numérica en su totalidad, como puede ser la fibra de carbono Toray T300, la cual cuenta con una resistencia a la tracción de 3530 MPa y un módulo de elasticidad de 230 GPa, sin embargo, no existe registro de otras propiedades como su modulo cortante, módulo de Poisson, resistencia a la compresión y demás, complicando el proceso de cálculo para la investigación. Se encontró en el internet el catálogo de la compañía Toray Composite Materials America, Inc. especializada en la distribución de fibra de carbono pre-impregnada, ofreciendo la fibra de carbono T800S de módulo intermedio, diseñada específicamente para cumplir con el alto desempeño y bajo peso requerido en la aeronáutica y el automovilismo. La fibra de carbono posee las propiedades presentes en el Tabla 2.

Propiedades	Sistema métrico	Sistema inglés
Densidad	1.80 g/cm^3	0.0650 lb/in^3
Módulo de elasticidad	163 GPa	23640 Ksi
Límite elástico	2400 MPa	348 Ksi
Módulo cortante	15 GPa	2180 Ksi
Resistencia a la tracción	3290 MPa	477000 Psi
Elongación hasta fallar	+1.94%	+1.94%
Módulo de Poisson	0.27	0.27
Conductividad térmica	113 $W/(m * ^\circ C)$	0.0015 $Btu * /(in * s * ^\circ F)$
Calor específico	0.74 $J/(g * ^\circ C)$	0.1767 $Btu/(lb * ^\circ F)$
Punto de fusión	815 $^\circ C$	1500 $^\circ F$

Tabla 2: Diferentes propiedades de la fibra de carbono T800S.

Fuente: Jacquin, A. (2024).

4.2.2 Temperaturas en el capó.

La carrocería del automóvil es el elemento con mayor exposición al cambio repentino de temperaturas, ya sea por el clima en el que se encuentra, el esfuerzo que está haciendo el motor e incluso la velocidad a la que se desplaza. Es normal que el compartimento del motor ronde los 90 o 100 $^\circ C$ junto con diferencias de presión entre la cámara del motor y el exterior del vehículo que dificultan la refrigeración por aire del motor, especialmente si la única forma en la que el aire puede salir del compartimento es por debajo del vehículo.

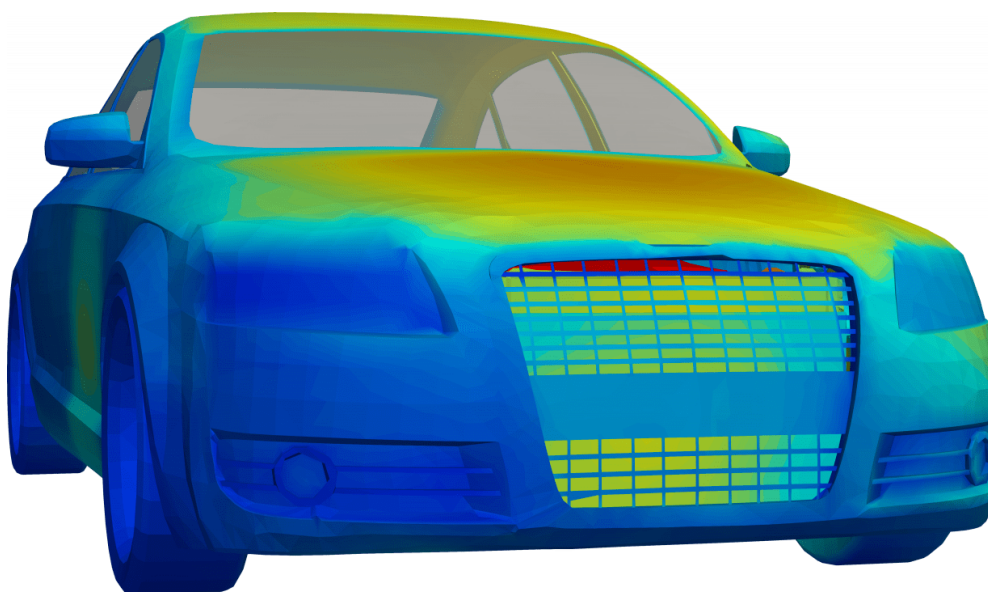


Figura 18. Análisis térmico del capó de un automóvil.

Fuente: thermoanalytics.com/.

Las aleaciones de aluminio tienen la capacidad de soportar las temperaturas anteriormente expuestas, ya que su punto de fusión supera los 500°C, sin embargo, el constante cambio de temperaturas y la cantidad de tiempo que se encuentra sometido a ellas puede generar un envejecimiento del metal producto de la temperatura de envejecimiento que ronda los 140°C. La temperatura de envejecimiento del metal es la temperatura a la que el metal comienza a cambiar de color, este cambio se debe a la interacción del metal con el oxígeno del aire. A esta temperatura, el metal comienza a perder su fuerza y resistencia debido a la interacción del metal con el oxígeno del aire. El metal se debilitará a altas temperaturas y a temperaturas más bajas se volverá más fuerte.

Si bien es algo que no ocurre repentinamente en los vehículos existe una fluctuación en las propiedades de la aleación que puede afectar la estructura del capó. Por el lado de la fibra de carbono utilizada en el automovilismo y los autos deportivos, utilizan la fibra de carbono reforzada para proteger la matriz polimérica del elemento, soportando hasta 815°C y las fluctuaciones constantes de temperatura sin llegar a perder sus propiedades o su forma.

4.2.3 Perfil aerodinámico del capó.

El modelo Z carece de distintos elementos utilizados para aumentar la carga aerodinámica del vehículo, esto ocurre principalmente porque se trata de un modelo de calle utilizado para el transporte diario. Sin embargo, el Z ya cuenta con un modelo exclusivamente utilizado para las competiciones GT4, el cual contiene varios elementos como difusores y el alerón trasero que generan más carga aerodinámica para que el vehículo se mantenga adherido a la pista.



Figura 19. Versión GT4 del modelo Z.
Fuente: caranddriver.com/ (2022).

Uno de los elementos que contribuyen al modelo deportivo son los agujeros en el capó, conocidos como ventilaciones. Existen diferentes tipos de ventilaciones que son utilizadas en modelos deportivos, una de ellas es el respiradero, siendo un agujero o toma de aire ubicada

directamente encima del motor. Aunque el respiradero aumenta el caudal de aire que entra al compartimento del motor y, por ende, lo refrigera a él o a ciertos radiadores montados en la parte superior del motor, su implementación afecta significativamente la carga aerodinámica de la parte frontal de auto debido a los torbellinos que se generan por la forma irregular de la superficie del capó, además, la cantidad de aire que entra al compartimento del motor solamente encuentra una salida por los inferiores del auto, generando sustentación y desestabilizando el vehículo.

El otro tipo de ventilación es el que se observa en la Figura 20, una ventilación por rejillas. La ventilación por rejillas posee un funcionamiento similar a la calandra en la parte frontal del vehículo, utilizada para proteger al radiador de suciedad o elementos que lo puedan golpear mientras que deja pasar el aire para refrigerar. La ventilación por rejillas en el capó deja escapar el aire contenido en el compartimento del motor hacia el exterior del vehículo, manteniendo el perfil continuo del capó y manteniendo el perfil aerodinámico. El modelo GT4 está adaptado específicamente para las competencias en pista, de igual forma podemos tomar las ventilaciones ubicadas en los costados del capó e implementarlas al modelo callejero.



Figura 20. Sistema de ventilación con rejillas de la versión GT4 del Z.
Fuente: southernsteamnissanofnewrivervalley.com/ (2022).

4.2.4 Resistencia al impacto.

La aleación de aluminio 6010 tiene buena resistencia a la fatiga, tenacidad y resistencia al agrietamiento, soportando cargas y vibraciones dinámicas a largo plazo, lo que garantiza la fiabilidad y seguridad de las piezas; Es un material con una excelente maquinabilidad y formabilidad, se puede doblar, prensar y otros procesos dependiendo de las necesidades, lo cual es conveniente para fabricar piezas con formas complejas. Posee una capacidad de producción enorme gracias a las tecnologías de extrusión o de impresión 3D de metales que manejan las

marcas de automóviles como Ford, Tesla y demás del mercado asiático, siendo indiscutiblemente el material principal en la fabricación de la carrocería.

La fibra de carbono es un material muy ligero, pero de forma individual puede alcanzar resistencias mecánicas equivalentes a las de un buen acero. Embebida en una matriz, también de carbono, la fibra puede absorber mucha más energía que un acero antes de romperse. Uno de estos ejemplos es un antiguo accidente es la Fórmula 1, donde el McLaren MP4/1 de John Watson se salió de la pista a 140 mph y quedó totalmente destrozado, sin embargo, el chasis del monoplaza quedó intacto gracias a la gran resistencia de la fibra de carbono frente a las cargas de tensión y compresión presentes en un accidente.

Avanzando a la actualidad las marcas de auto como Bugatti, Pagani o Koenigsegg fabrican sus vehículos no solo con el chasis hecho de fibra de carbono, si no que la totalidad de la carrocería también está hecha de este super material, claramente estos autos pertenecen a la categoría de hiper-deportivos y sus elevados costos provienen precisamente del uso de elementos muy avanzados, pero eso no detiene a marcas como Nissan de implementar la fibra de carbono en ciertos aspectos de sus deportivos.



Figura 21. Carrocería del Koenigsegg Regera construida en fibra de carbono.

Fuente: caranddriver.com/ (2017).

4.3 Selección de la alternativa de solución con fibra de carbono que mejore las propiedades mecánicas y térmicas del capó del auto deportivo Nissan Z.

Tras exponer los diversos factores influyentes no solo en el capó de un vehículo, si no en la estructura y funcionamiento general del auto y las características que debe tener el mismo, se procede a la propuesta de una alternativa utilizando fibra de carbono T800S, ya que es la fibra de carbono encontrada en la web que cuenta con todas las propiedades requeridas por el software Solidworks para poder realizar las simulaciones y un perfil distinto al que se encuentra en el modelo deportivo Z, con la finalidad de mejorar el rendimiento y el desarrollo de materiales compuesto en el deportivo y en la industria de automóviles en general.

Inicialmente se deben conocer las dimensiones del capó del modelo Z, utilizando la información de las fichas técnicas ofrecidas por su fabricante Nissan conocemos las dimensiones totales del vehículo más no las del capó, por lo que con la ayuda del software de diseño asistido por computadora Solidworks en su versión 2019 edición de 64 bits y una imagen a escala del modelo real, se obtendrán las dimensiones exactas del capó.

Dentro del software, utilizamos la opción de imagen para croquis y colocamos las imágenes del alzado, planta y vista lateral centradas en su respectivo plano como se observa en la Figura 22.

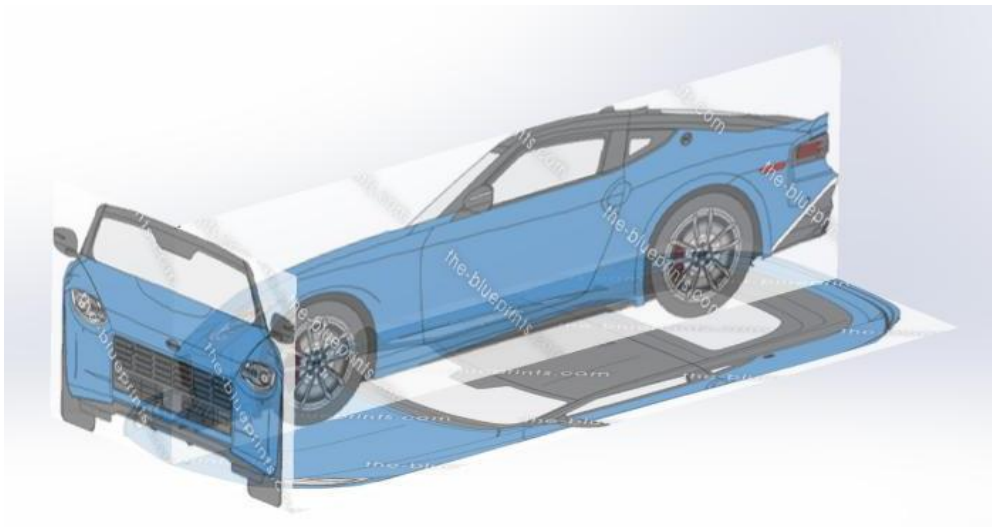


Figura 22. Imágenes para croquizar el capó.

Fuente: Jacquin, A (2024).

Mediante el uso de las herramientas Spline, líneas constructivas y cotas inteligentes realizamos dos curvas en los planos de planta y lateral de modo que mediante la herramienta de proyectar curva se genere una curva tridimensional que genere la parte lateral del capó. A continuación, se muestran las figuras correspondientes a la construcción de dicha curva.

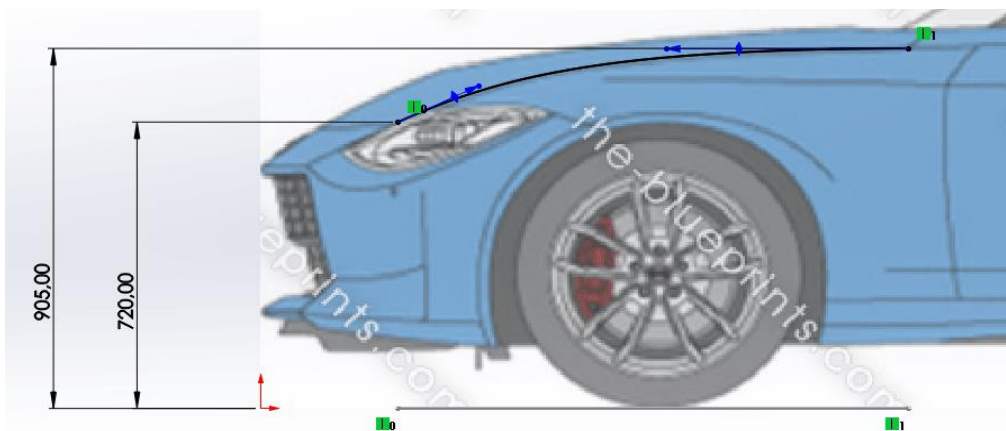


Figura 23. Línea guía en el plano lateral.

Fuente: Jacquin, A (2024).

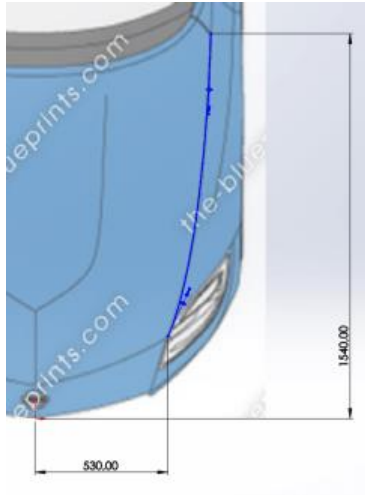


Figura 24. Línea guía en el plano de planta.
Fuente: Jacquin, A (2024).

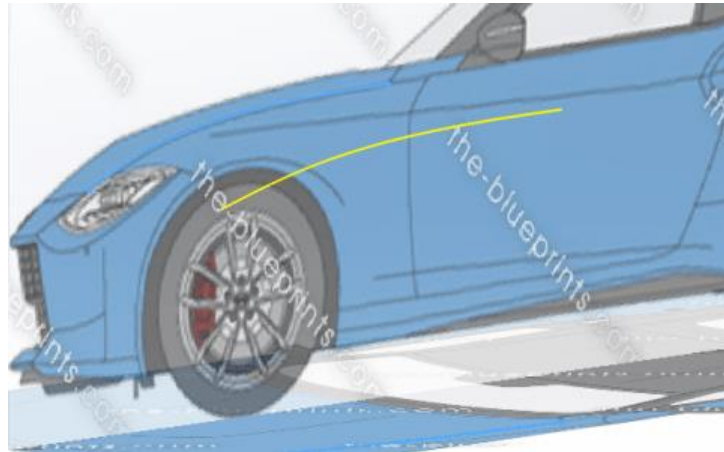


Figura 25. Proyección tridimensional de la curva externa del capó.
Fuente: Jacquin, A (2024).

Una vez realizada la curva procedemos a realizar el mismo procedimiento para la parte central del capó.

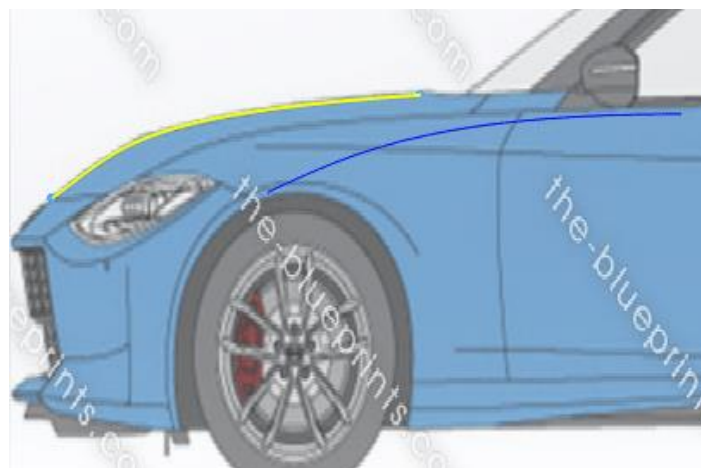


Figura 26. Proyección tridimensional de la curva interna del capó.
Fuente: Jacquin, A (2024).

Para delimitar los bordes frontales y traseros del capó realizamos el mismo procedimiento con la excepción de que, en lugar de realizar las curvas en los planos lateral y planta, se realizarán en los planos frontal y planta.

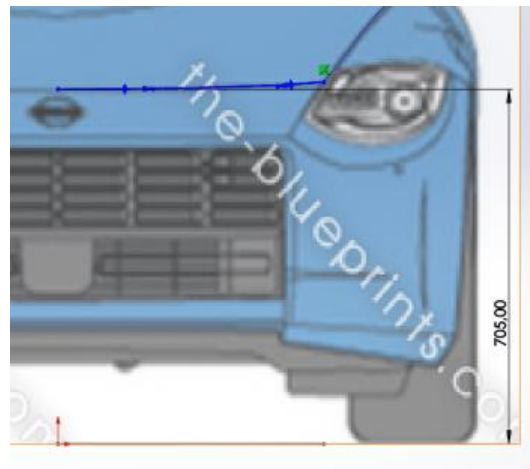


Figura 27. Línea guía en el plano frontal.
Fuente: Jacquin, A (2024).



Figura 28. Línea guía en el plano de planta.
Fuente: Jacquin, A (2024).

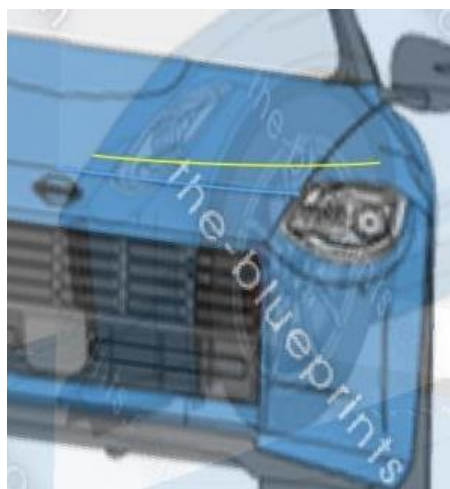


Figura 29. Proyección tridimensional de la curva frontal del capó.
Fuente: Jacquin, A (2024).

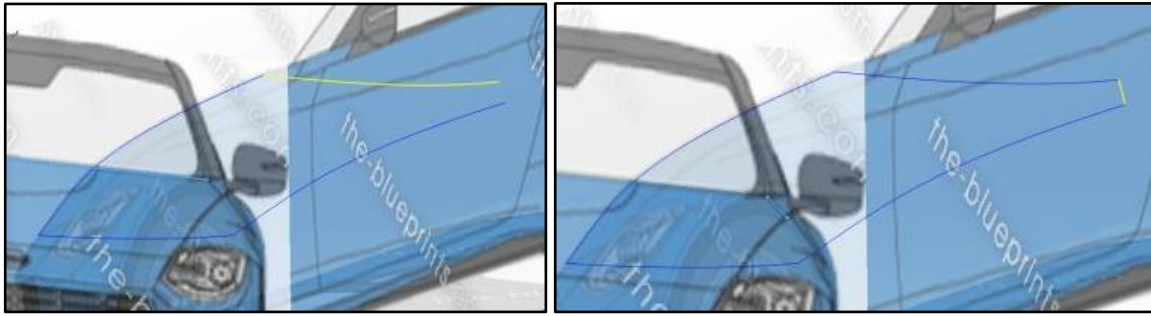


Figura 30. Proyección tridimensional de la curva trasera del capó.
Fuente: Jacquin, A (2024).

Una vez delimitadas las dimensiones del capó, se construye la superficie del mismo mediante la herramienta de “Rellenar superficie” en el apartado de “Superficies”. Utilizando el comando de “Dar espesor” añadimos un grosor de 2 mm para transformar la superficie en sólido para las futuras simulaciones y mediante el comando de “Simetría” obtenemos el capó completo, resultando como se muestra en la Figura 31.

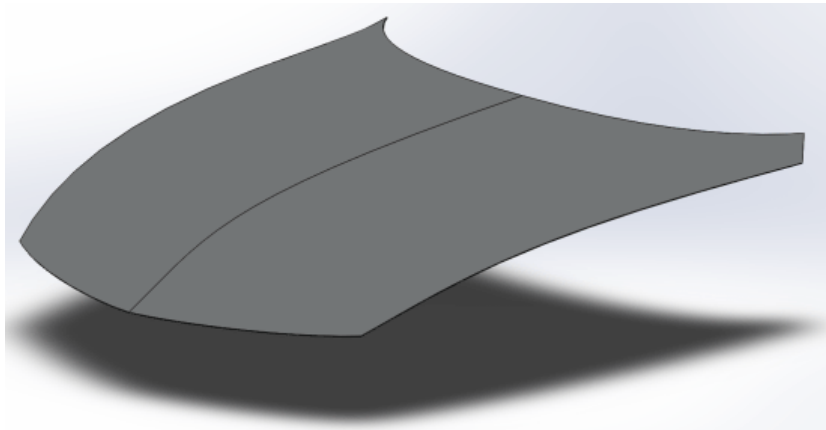


Figura 31. Construcción del capó original.
Fuente: Jacquin, A (2024).

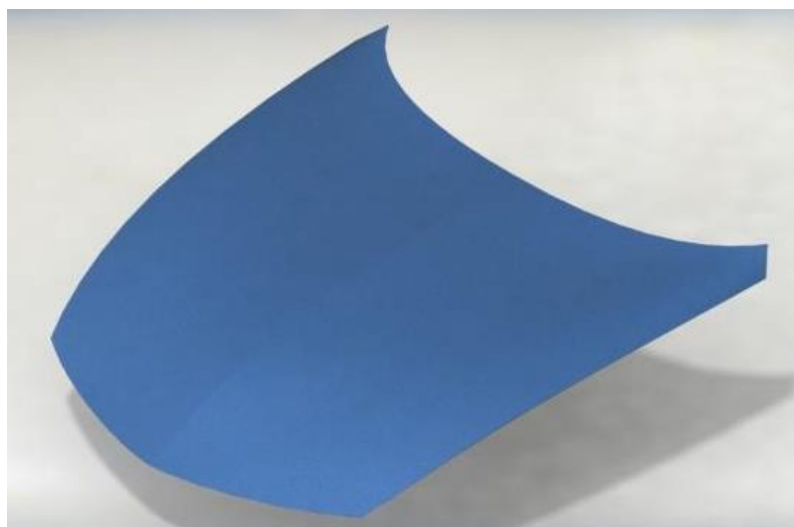


Figura 32. Renderizado del capó original.
Fuente: Jacquin, A (2024).

Con el capó realizado, seleccionamos la opción “Crear dibujo desde pieza/ensamblaje” para obtener los dibujos de las diferentes vistas del capó y, mediante la herramienta de “Cota inteligente” obtener las medidas aproximadas reales del capó. A continuación, se muestra dicho plano con las medidas.

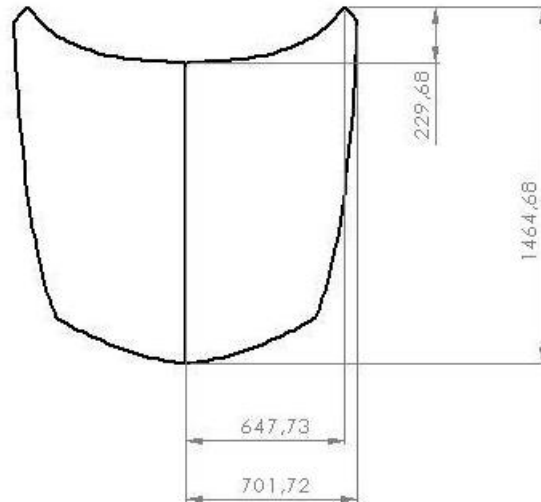


Figura 33. Vista superior del capó.
Fuente: Jacquin, A (2024).

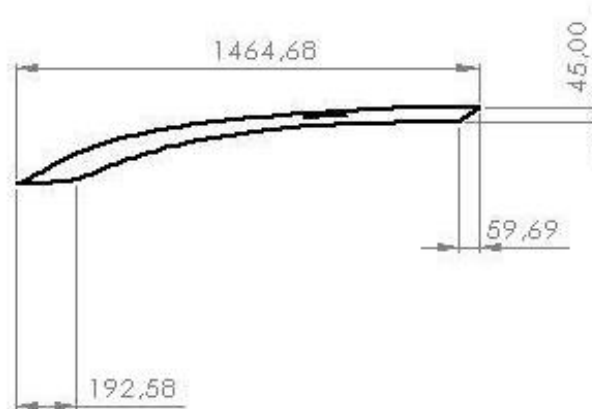


Figura 34. Vista lateral del capó.
Fuente: Jacquin, A (2024).

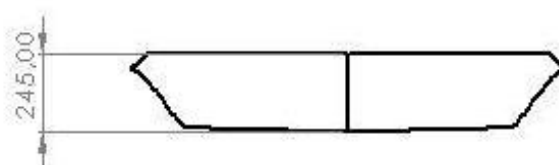


Figura 35. Vista frontal del capó.
Fuente: Jacquin, A (2024).

El capó posee un ancho de aproximadamente 1405mm, largo de 1465mm y alto de 245mm. Con las medidas especificadas se procede a analizar las soluciones propuestas con anterioridad, iniciando con la elección de la fibra de carbono T800S como material de construcción del capó. Se construirá dicho capó con las mismas dimensiones y perfil que el original, suplantando solamente su material de construcción el aluminio 6010 y manteniendo el perfil original del capó. Como segunda alternativa se realizará otro capó de fibra de carbono T800S con el añadido de las ventilaciones a los costados, permitiendo un análisis objetivo entre los materiales y el perfil aerodinámico que, junto con factores como costos, dificultad de manufactura y demás, tiene como finalidad mejorar las capacidades del modelo Z.

4.4 Diseño del capó de fibra de carbono seleccionado.

Existen diferentes modificaciones probables para un elemento como es el capó, aunque la principal meta que se desea obtener con dichas modificaciones es proporcionar una entrada de aire o ventilación para el compartimento del motor sin afectar la aerodinámica del vehículo. Como el motor VR30DDTT del modelo Z no está diseñado específicamente para competencias o situaciones que lo lleven al límite la implementación de un sistema de ventilación sencillo será suficiente para mejorar su desempeño, por lo que se eligieron tomas de aires como modificación para el capó.

4.4.1 Elección de la toma de aire y diseño en SolidWorks.

Las tomas de aire son piezas cuya función principal es mejorar el suministro y circulación de aire en una parte de un vehículo, como puede ser el compartimento motor o el habitáculo. Estas ventilaciones pueden instalarse en automóviles deportivos como estándar o adaptarse para uso recreativo o de carreras. Los hay de diferentes tipos, ya sean montados en el capó, en el techo o en el parachoques. La toma de aire convencional se utiliza principalmente para optimizar la circulación del aire y permitir una mejor disipación del calor debajo del capó. Esta salida de aire o toma de aire es eficaz en épocas de calor o cuando se utiliza el coche de forma intensiva y durante largos periodos. Montado sobre el capó, evita el sobrecalentamiento del motor garantizando una buena ventilación del bloque y de sus periféricos. La confiabilidad y vida útil de las piezas se pueden mejorar gracias a una ventilación más eficiente que la original.

Un respiradero central o capturador de aire permite un flujo de aire directo hacia el compartimento del motor, es usado especialmente en automóviles con motores modificados como los “dragsters”, diseñados para alcanzar altas velocidades en muy poco tiempo, o motores de gran tamaño como los que poseen las camionetas o deportivos americanos. Sin embargo, este respiradero entorpece el flujo de aire en la parte frontal del vehículo, aumenta la cantidad

de aire atrapado en el compartimento del motor y favorece a la separación del aire de la superficie del automóvil, provocando un mayor arrastre en él.

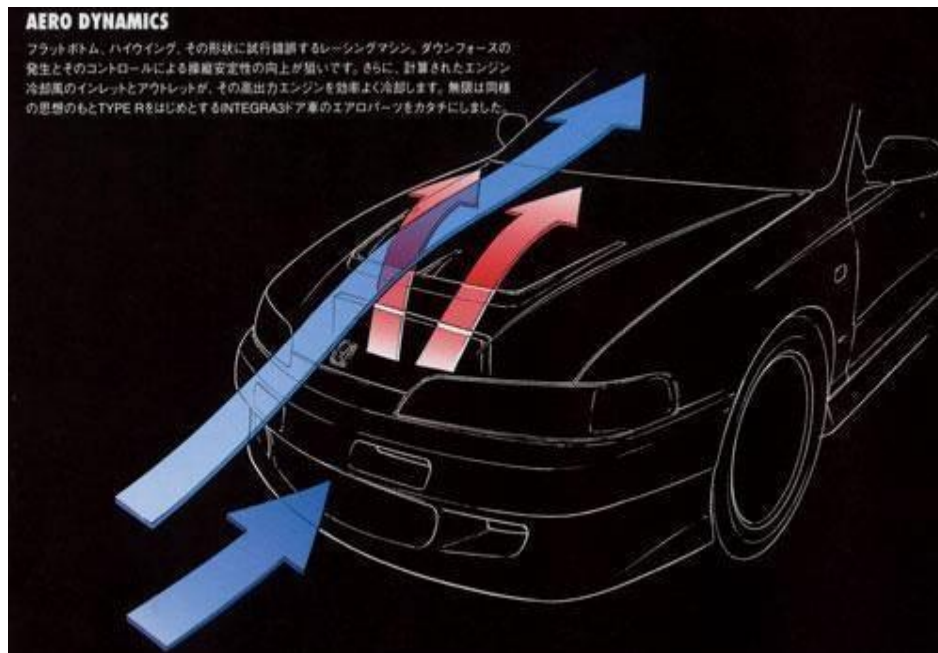


Figura 36. Funcionamiento aerodinámico de un respiradero.
Fuente: team-integra.net/ (2006).

Las tomas de aire convencionales, por otra parte, no permiten la entrada de un gran volumen de aire, su función principal es optimizar el flujo de aire desde la zona de la parrilla hasta el exterior del vehículo para proporcionar una mayor carga aerodinámica al automóvil sin comprometer la refrigeración del mismo. Las tomas de aire resultan mucho más convencionales que los respiraderos, especialmente si de modelos deportivos se trata, ya que aumenta la carga aerodinámica del vehículo y pueden implementarse fácilmente en la carrocería.

Hay salidas de aire del capó en FRP, carbono, entre otros. Generalmente son salidas de aire universales. El respiradero libera el aire a alta presión que pasa a través del conducto de aire delantero y el radiador, mediante una zona de alta presión generada por el aire que circula por el conducto de aire y una zona de baja presión sobre el respiradero generada por el aire que se mueve rápidamente sobre el capó. Esto provoca una mejor refrigeración, menor resistencia y menos aire debajo del automóvil (menor resistencia). En muchos vehículos se utilizan 2 tomas de aire para conducir el aire equitativamente.



Figura 37. Tomas de aire convencionales hechas en fibra de carbono.
Fuente: team-integra.net/ (2006).

El modelo Z no sufre de problemas de recalentamiento del motor según sus compradores, por lo que, en el trabajo presente se implementaron 2 tomas de aire convencionales de poca altura, pueden ser cuadradas o más aerodinámicas y, dependiendo de la dirección de sus aletas, pueden redirigir el aire para optimizar el flujo de aire dentro y fuera de la cámara y con la posibilidad de mejorar ligeramente la expulsión de calor.

4.4.2 Ubicación de las tomas de aire.

Como se planteó en el apartado anterior, el capó propuesto contará con 2 tomas de aire a los costados similar al modelo GT4 del Z, sin embargo, la colocación de dichas tomas es dependiente de la ubicación de distintos componentes en el compartimento del motor, así como también la cantidad de calor que surge por las diferentes zonas del mismo. A continuación, en la Figura 38 observamos el compartimento del motor con todos sus componentes:



Figura 38. Compartimento del motor del modelo Z.
Fuente: carbuzz.com/ (s.f.).

Analizando el compartimento surgen distintas opciones para la colocación de las tomas de aire en el capó. La primera de ellas estaría ubicada en la parte central del capó directamente encima de la cubierta del motor; por creencia popular se piensa que la totalidad del motor se encuentra a mayor temperatura que el resto de los componentes, no obstante, gracias a la optimización de la refrigeración en motores actuales, elementos como la cubierta del motor suelen alcanzar temperaturas de 85°C aproximadamente, existiendo otros componentes o zonas que alcanzan mayores temperaturas. Además, el espacio existente entre la cubierta del motor y el capó es bastante angosto, teniendo un flujo de aire reducido en dicha zona y haciendo de esta ubicación para las tomas de aire una no tan eficiente.



Figura 39. Zona de la cubierta del motor considerada para la colocación de las tomas de aire.

Fuente: carbuzz.com/ (s.f.).

Otra alternativa para la localización de las tomas de aire es en la zona media del compartimento del motor en la cercanía de los filtros de aire. El motor que utiliza el modelo Z, el VR30DDTT Twin Turbo, posee intercoolers montados sobre la cámara de combustión, a diferencia de otros que se encuentran frente a la parrilla, trabajando en conjunto con 2 disipadores de calor como se observa en la Figura 40.



Figura 40. Ubicación de los disipadores de calor del motor VR30DDTT Twin Turbo.

Fuente: [youtube.com/watch?v=GvmmSmMD_s0&t=191s/](https://www.youtube.com/watch?v=GvmmSmMD_s0&t=191s/) (2022).

Los intercoolers tienen la función de expulsar el aire caliente proveniente de los turbos del motor, generalmente este aire caliente se disipa en la cámara del motor ya que no posee una forma directa de escapar. Como se mencionó en el apartado anterior, la refrigeración del modelo Z no presenta problema alguno, si se implementan las tomas de aire directamente encima de los intercoolers es posible que aumente considerablemente el escape de aire caliente, pero no soluciona el problema de la inestabilidad del vehículo. Aunque no se conoce con exactitud, la ubicación de las tomas de aire del modelo GT4 de la Figura 19 pueden aumentar la carga aerodinámica del vehículo de manera significativa sin comprometer la integridad del capó, por lo que la ubicación de las tomas de aire del diseño propuesto será debajo de la zona media del capó, similar a las del modelo GT4.

4.4.3 Diseño del capó en SolidWorks.

Con el fin de simular el objeto de estudio y determinar su viabilidad frente al modelo original, es necesario realizar el modelo 3D del capó utilizando las dimensiones obtenidas en las fases anteriores, además de implementar la fibra de carbono como material de construcción y las tomas de aire o respiraderos como adiciones al perfil aerodinámico, características influyentes en el desempeño del vehículo. Dentro del software de SolidWorks 2019 y tomando como base el modelo tridimensional del modelo Z expuesto anteriormente, iniciaremos generando un croquis en la vista de planta, donde se dibujará mediante la herramienta “Paralelogramo” la silueta del respiradero como se observa en la Figura 41.

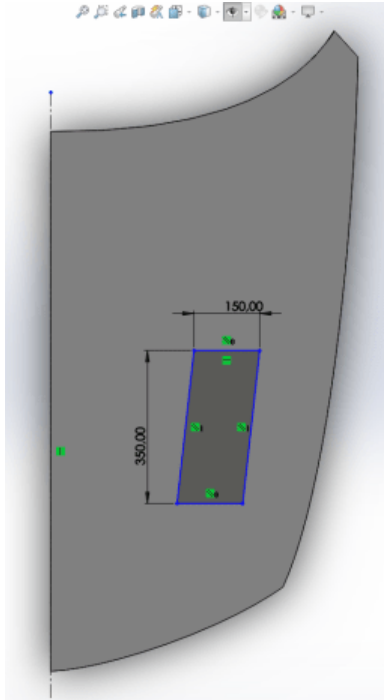


Figura 41. Medidas de una de las tomas de aire del capó.
Fuente: Jacquin, A (2024).

La ubicación de las tomas de aire será simétrica en ambos lados del capó y por debajo de la zona media del mismo como se mencionó en el apartado anterior. Para obtener el corte del capó donde irán ubicadas las tomas de aire se utiliza la opción “Extruir corte” en el apartado de “Operaciones”.

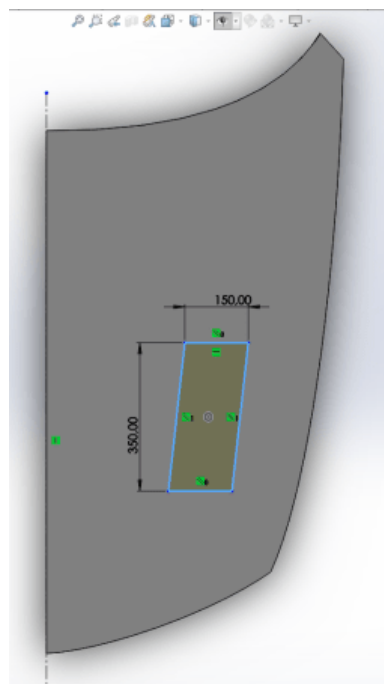


Figura 42. Recorte realizado en el capó.
Fuente: Jacquin, A (2024).

Se procede a realizar un croquis en las paredes del corte realizado donde se dibuja el perfil de una de las aletas de la toma de aire, para hacer el trabajo más sencillo se utiliza la opción de “Vista de sección” que permite obtener una visualización del modelo recortado, permitiendo dibujar los bordes de las aletas de manera más precisa, las aletas tendrán una longitud de 68mm, un espaciado de 2mm entre aletas y un grosor que aumenta de 1mm a 4mm para que el aire escape al exterior y se tenga una estructura resistente.

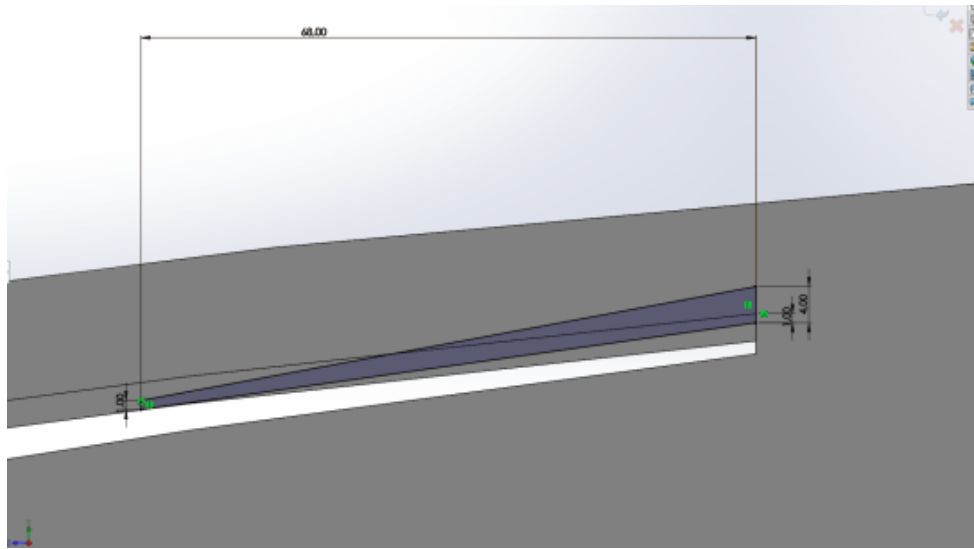


Figura 43. Diseño de la aleta de la toma de aire.
Fuente: Jacquin, A (2024).

Este procedimiento se debe realizar en la otra cara del agujero con las mismas dimensiones, para luego utilizando la opción de “Recubrir” en el apartado de “Operaciones” se obtenga el sólido.

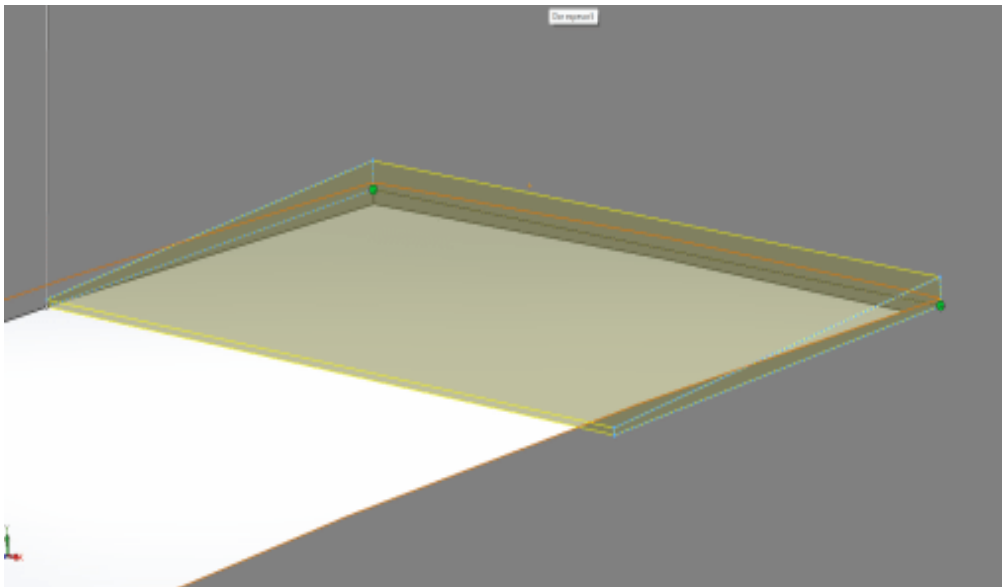


Figura 44. Proyección de la aleta por el comando “Recubrir”.
Fuente: Jacquin, A (2024).

El resto de las aletas siguen el mismo procedimiento solamente que se añade una separación entre aletas de 2 mm para permitir el flujo de aire. Una vez realizada una toma de aire se utiliza el comando de “Simetría” del apartado “Operaciones” para obtener el capó completo.

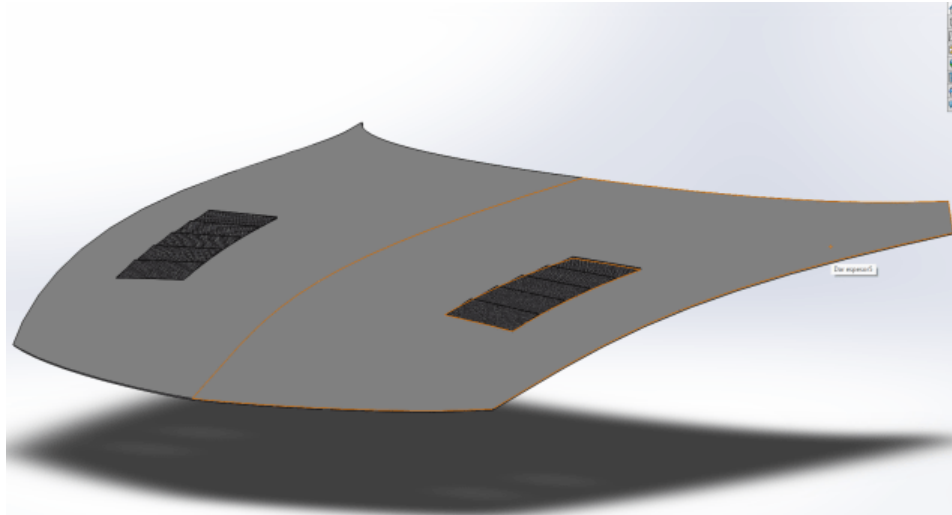


Figura 45. Resultado final de las tomas de aire.
Fuente: Jacquin, A (2024).

Con el modelo construido en el software, la última fase del diseño en Solidworks es implementar los materiales de cada capó, para ello nos dirigimos al apartado de materiales y creamos materiales personalizados con las propiedades expuestas en las Tablas 1 y 2 para poder realizar las futuras simulaciones.

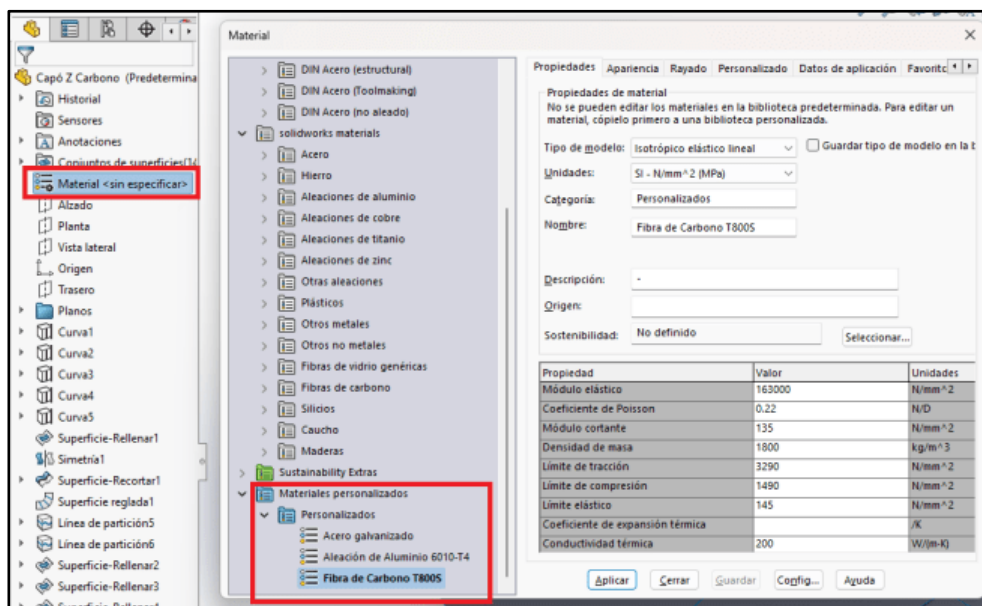


Figura 46. Aplicación del material al capó.
Fuente: Jacquin, A (2024).

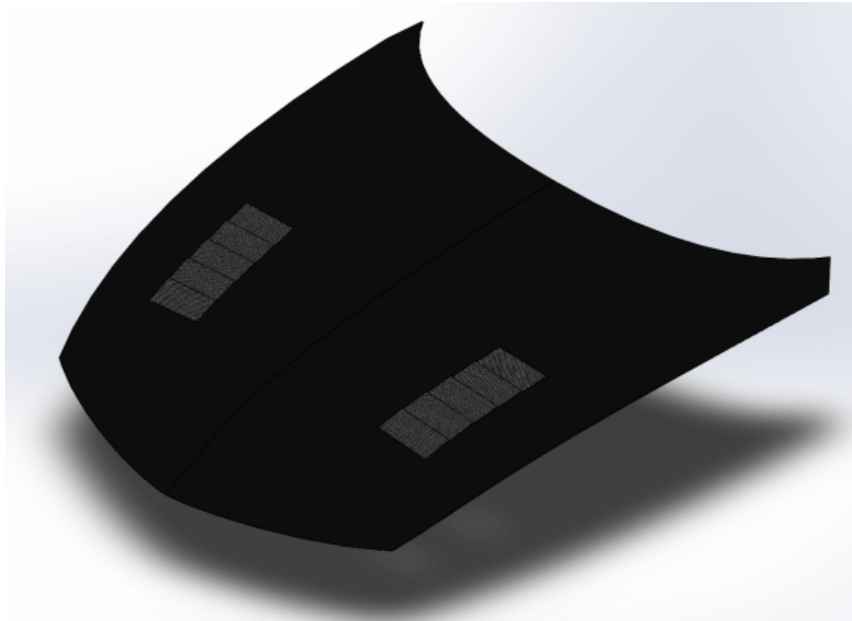


Figura 47. Diseño final del capó en fibra de carbono.

Fuente: Jacquin, A (2024).

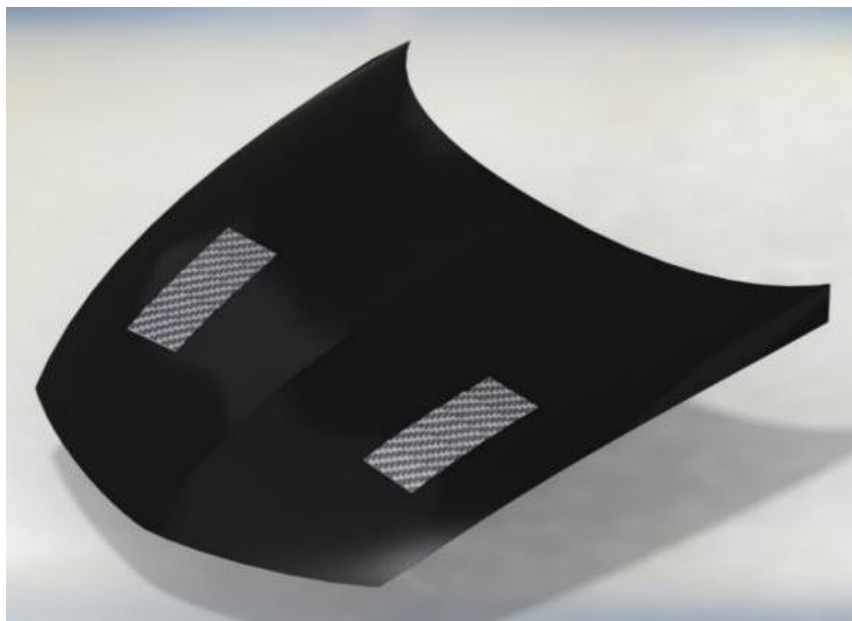


Figura 48. Renderizado final del capó en fibra de carbono.

Fuente: Jacquin, A (2024).

4.5 Evaluación de la viabilidad técnica, operativa y económica del diseño realizado.

Con el modelo propiamente diseñado se dio paso al análisis de las características y propiedades finales que resultan de la utilización de fibra de carbono como elemento de construcción y del rediseño con tomas de aire para mejorar el desempeño del capó mediante comparación directa entre el modelo original y el diseño propuesto y el comportamiento de ambos modelos bajo situaciones que se presentan en la conducción del día a día; dichos análisis se dividieron en viabilidad técnica, viabilidad operativa y viabilidad económica.

4.5.1 Viabilidad técnica.

En este apartado se presentan los resultados y cálculos arrojados por el software de simulación, el cual muestra las características generales del diseño propuesto. Inicialmente se obtiene que el peso entre el modelo original y el diseño propuesto fue reducido considerablemente gracias al uso de fibra de carbono, dentro de SolidWorks 2019 y en el apartado de “Calcular” se encuentran las propiedades físicas del modelado como área de superficie, volumen y masa. A continuación, en la Tabla 3, se presenta una comparación entre el modelo original y el modelo propuesto.

Propiedades	Modelo Original	Modelo Propuesto
Masa	8719.8 Gramos	5870.65 Gramos
Volumen	3217642 mm ³	3261470 mm ³
Área de superficie	3217761 mm ²	3222021 mm ²

Tabla 3: Comparación de propiedades entre el modelo original y el modelo de capó propuesto.

Fuente: Jacquin, A. (2024).

$$\% \text{ Diferencia de peso} = \frac{(8719.8 - 5870.65) \text{ g}}{8719.8 \text{ g}} * 100\%$$

$$\% \text{ Diferencia de peso} = 32.6475\%$$

El peso total del capó resultó ser 32.65% más ligero que el modelo original debido a la baja densidad de la fibra de carbono frente al aluminio con medidas similares en el volumen y área de ambos capós. El uso de la fibra de carbono en distintos elementos de la carrocería como difusores, parachoques o espejos, permitiendo una disminución de peso de entre 20% a 30% o 300 a 400 kg menos, haciendo que el motor tenga que desplazar menor peso y, por ende, pudiendo mejorar la eficiencia de combustible y el desempeño general del vehículo en pista y en conducción diaria.

4.5.2 Viabilidad operativa

En el apartado presente se muestra el comportamiento del diseño original y el diseño propuesto frente a la temperatura, la aerodinámica y la deformación a las que el vehículo se puede ver sometido en su uso diario o en pista, teniendo en cuenta que las simulaciones no expresan en su totalidad el comportamiento real del capó, solamente aproximaciones que muestran el comportamiento general de los materiales y que excluyen las distintas variables presentes en la realidad.

4.5.2.1 Análisis térmico

Para el análisis térmico se supuso que la temperatura en el compartimento del motor es de 80°C , con la capacidad de llegar como máximo a 100°C bajo estrés excesivo o cuando algún elemento no está funcionando correctamente en el motor. Además, la superficie externa del motor se encuentra a una temperatura ambiente de 25°C al aire libre.

Los elementos fabricados con la aleación de aluminio 6010-T4 tienen la capacidad de distribuir el calor al igual que otros metales, ya que tienen un número de electrones libres que pueden distribuirlo además del que se propaga por la agitación molecular, la expansión térmica del material también juega un papel importante en las aleaciones de aluminio, afectando directamente las tolerancias del elemento. La fibra de carbono por otro lado no tiene la misma capacidad de dispersión de temperatura al igual que otros materiales de fabricación, además, la fibra no sufre una expansión térmica como otros materiales y no sufre deformaciones o cambios en sus propiedades mecánicas, llegando a soportar temperaturas de hasta 815°C como se especificó en la Tabla 2.

Para lograr un resultado más allá de lo teórico, se propuso un estudio de la transferencia de calor por conducción entre ambos capós, mediante el uso de las fórmulas (8) y (9) en el capítulo II y la herramienta de “Estudio térmico” que proporciona el software de SolidWorks 2019. Para ello se ubica en el apartado “Simulation” y se selecciona en la pestaña de “Nuevo estudio” la opción de “Análisis térmico” como se aprecia en la Figura 49:

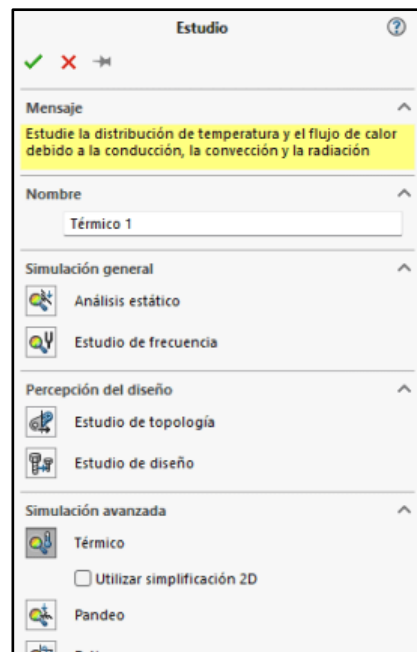


Figura 49. Selección del estudio “análisis térmico”.

Fuente: Jacquin, A (2024).

A continuación, se añade la carga térmica de “Temperatura”, esta simula la temperatura de la superficie del capó que se encuentra dentro del compartimento del motor, la cual ronda los 80°C.

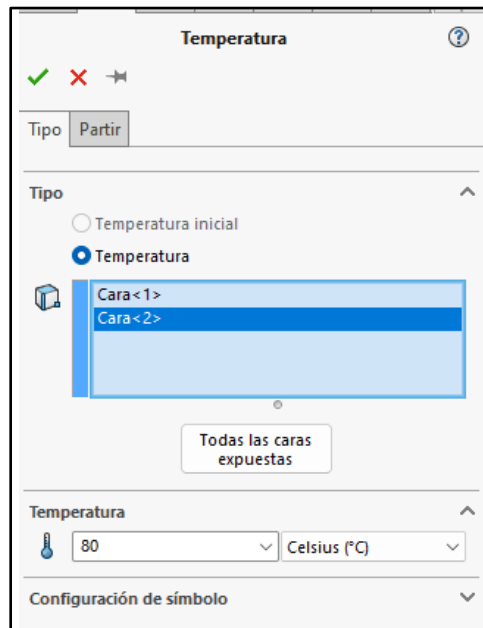


Figura 50. Temperatura en el compartimento del motor.
Fuente: Jacquin, A (2024).

La carga térmica siguiente es la “Convección”, simulando la parte exterior del capó que se encuentra a temperatura ambiente de 25°C y bajo el coeficiente de convección del aire, el cual es $25 \text{ W}/(\text{m}^2 * ^\circ\text{C})$.

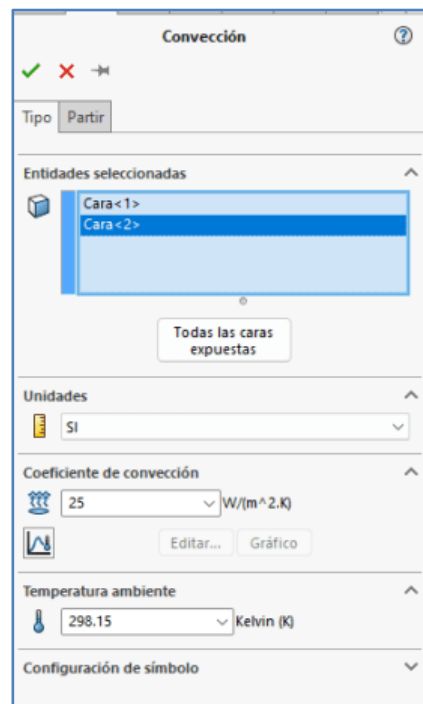


Figura 51. Condiciones en la parte superior del capó.
Fuente: Jacquin, A (2024).

Una vez especificadas las cargas se procede a realizar la simulación mediante la herramienta de “Ejecutar este estudio” y se muestran los siguientes resultados.

4.5.2.1.1 Análisis térmico del capó original

Los resultados del análisis térmico del modelo original de capó realizado en SolidWorks 2019 se observan en la Figura 52.

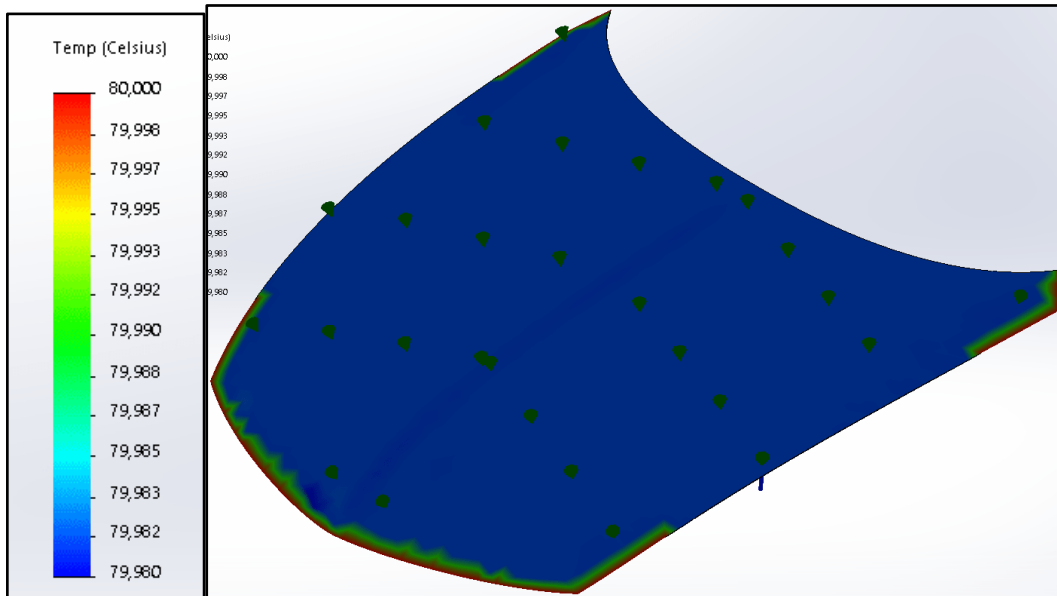


Figura 52. Resultados arrojados en el análisis térmico del modelo original.

Fuente: Jacquin, A (2024).

Para comprobar la veracidad de la simulación se utilizaron las fórmulas (8) y (9) y los datos anteriormente mencionados

$$Q_{pared} = 151 * 3.217761 * \frac{25 * (80 - 25)}{151 + (25 * 0.002)}$$

$$Q_{pared} = 4422.95 \text{ Watts}$$

$$T_{(0.002m)} = 80 - \frac{25 * (80 - 25)}{151 + (25 * 0.002)} * 0.002$$

$$T_{(0.002m)} = 79.981^{\circ}\text{C}$$

Como se aprecia tanto en la simulación como en los cálculos, el capó original fabricado con aleación de aluminio 6010-T4 transfiere la temperatura del compartimento del motor hacia la superficie exterior casi por completo, con una reducción de menos de 0.2°C. Aunque el material es capaz de resistirla sin afectar sus propiedades mecánicas, el constante cambio de temperaturas puede afectar la vida útil del elemento y puede verse obligado a procesos de mantenimiento o reemplazo tras cierto tiempo. Hay que acotar que el capó posee elementos

internos que también distribuyen el calor pero que no fueron tomados en cuenta para esta investigación.

4.5.2.1.2 Análisis térmico del diseño propuesto

Para el diseño propuesto utilizando fibra de carbono T800S y la implementación de tomas de aire para la ventilación dentro del compartimento del motor, el área total del capó varía con respecto a la original, junto con el espesor máximo que aumenta a $0.004m$ en las tomas de aire. El comportamiento térmico de la fibra de carbono se rige bajo factores que no se presentan en esta investigación como la fracción de volumen de fibra, porosidad de la matriz (huecos) y espesor de la interfase, por lo que los resultados siguientes se presentan como aproximaciones y estimaciones bajo un estudio más simple de la transferencia de calor. Dicho esto, la Figura 53 muestra los resultados obtenidos en el análisis térmico.

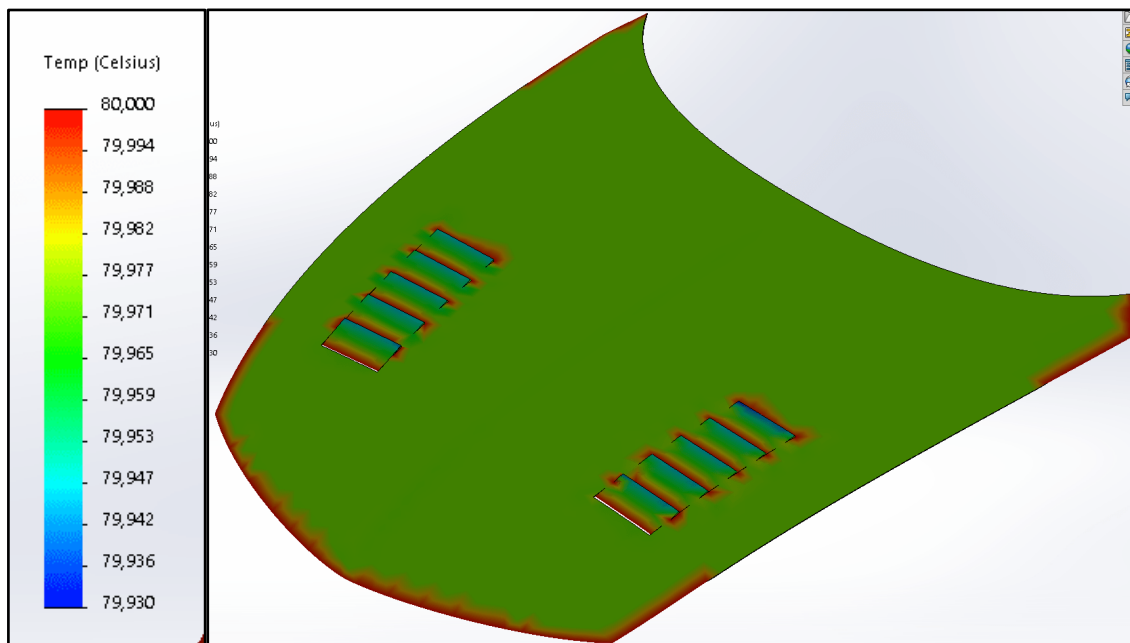


Figura 53. Resultados arrojados en el análisis térmico del diseño propuesto.

Fuente: Jacquin, A (2024).

$$Q_{pared} = 105 * 3.222021 * \frac{25 * (80 - 25)}{105 + (25 * 0.004)}$$

$$Q_{pared} = 4426.06 \text{ Watts}$$

$$T_{(0.004m)} = 80 - \frac{25 * (80 - 25)}{105 + (25 * 0.004)} * 0.004$$

$$T_{(0.002m)} = 79.94^{\circ}\text{C}$$

Como se aprecia en la figura 53, la fibra de carbono T800S presenta una transferencia de temperatura desde el compartimento del motor ligeramente más baja que el modelo original,

siendo las tomas de aire el punto con menor temperatura de todo el capó. Aunque la diferencia de temperaturas no es muy grande, existen distintos factores no presentes en la simulación que dan una mejor visión a las ventajas del diseño propuesto; desde la capacidad de que fluya aire por la parte inferior del capó hacia la parte exterior, cosa que el modelo original no presenta y que no sólo afecta la zona por la que fluye el aire, si no que afecta también la misma temperatura dentro del compartimento; la dificultad de que la fibra de carbono T800S siquiera logre llegar a la temperatura de 80°C ya que no es un conductor térmico como las aleaciones de aluminio y otros metales, lo que genera esfuerzos para mejorar la disipación de calor mediante el empleo de láminas de grafito externas o internas.

4.5.2.2 Análisis aerodinámico

El análisis aerodinámico se realiza bajo condiciones básicas, como una presión atmosférica de 101235 Pascales, el aire se encuentra a temperatura ambiente, la humedad no es tomada en cuenta, el viento se dirige en línea recta y hacia el frente del capó sin perturbaciones. Con el fin de analizar el flujo de aire por las superficies internas y externas del capó se realizó una simulación de fluido utilizando el software de SolidWorks 2019 en su apartado de “Flow Simulation”, usando la opción “Wizard” fijaremos los parámetros anteriormente mencionados y seleccionando un análisis de tipo externo, bajo la influencia de la gravedad y una velocidad de 100 *km/h* en el eje Z simulando al coche en movimiento.

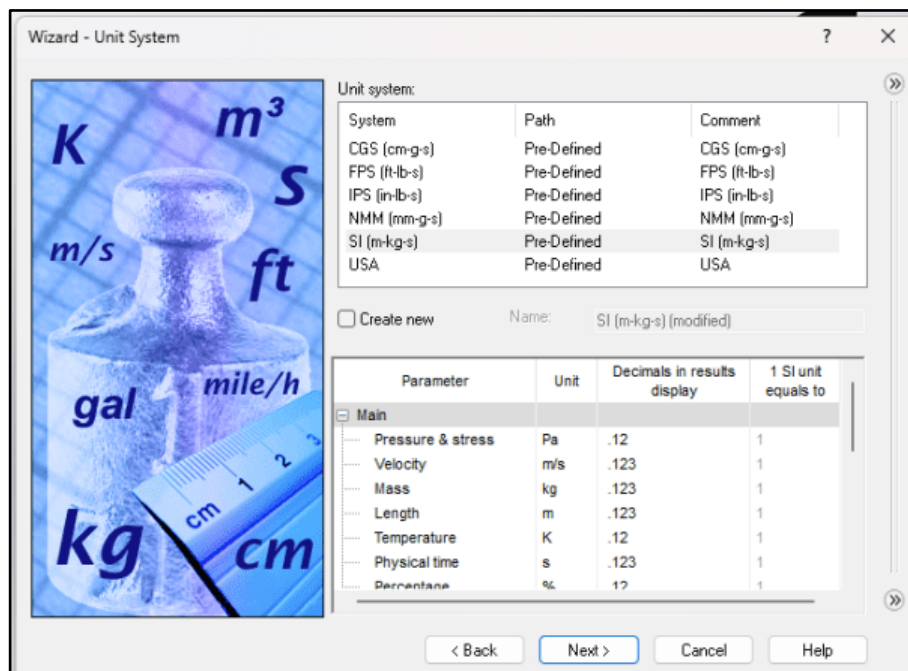


Figura 54. Ventana para fijar los parámetros de la simulación.
Fuente: Jacquin, A (2024).

Una vez colocados los parámetros se modifica el dominio computacional para abarcar la totalidad del capó y el área que se ve afectada por él. Los cálculos son realizados por el software SolidWorks de manera automática dependiendo de las metas que queramos obtener, en esta investigación se toma en cuenta los resultados de fuerza en los ejes X, Y, Z y la fuerza total, la velocidad máxima también en los ejes X, Y, Z y el total junto con la presión total máxima en la superficie del capó. Dichas metas se muestran en la figura 55.

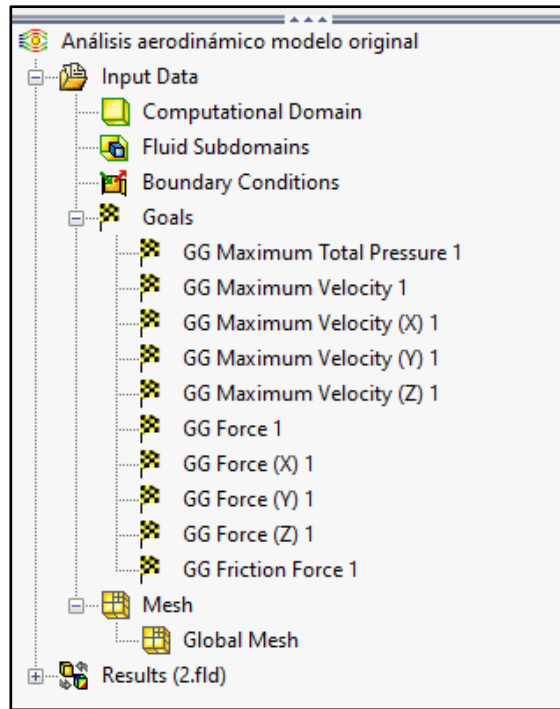


Figura 55. Resultados a obtener en la simulación aerodinámica.
Fuente: Jacquin, A (2024).

4.5.2.2.1 Análisis aerodinámico al modelo original

Una vez finalizada la simulación del modelo original del capó se presentan los resultados en las figuras 56, 57 y 58.

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Force (X) 1	0.0260941 N	55%	0.00621059 N	0.00729399 N
GG Force (Y) 1	-90.0885 N	Achieved (IT = 148)	1.16633 N	-90.1148 N
GG Force (Z) 1	-48.9608 N	Achieved (IT = 128)	1.14682 N	-48.9497 N
GG Force 1	102.533 N	Achieved (IT = 130)	1.43508 N	102.551 N
GG Friction Force 1	2.26796 N	Achieved (IT = 99)	0.0881638 N	2.26257 N
GG Maximum Total Pressure 1	102401 Pa	Achieved (IT = 64)	129.253 Pa	102404 Pa
GG Maximum Velocity (X) 1	77.0336 km/h	Achieved (IT = 203)	1.19485 km/h	79.0676 km/h
GG Maximum Velocity (Y) 1	53.7813 km/h	84%	2.59189 km/h	55.2089 km/h
GG Maximum Velocity (Z) 1	32.3521 km/h	Achieved (IT = 154)	2.58713 km/h	32.3214 km/h
GG Maximum Velocity 1	120.089 km/h	Achieved (IT = 134)	1.24895 km/h	120.435 km/h

Figura 56. Cálculos obtenidos del análisis del modelo original.
Fuente: Jacquin, A (2024).

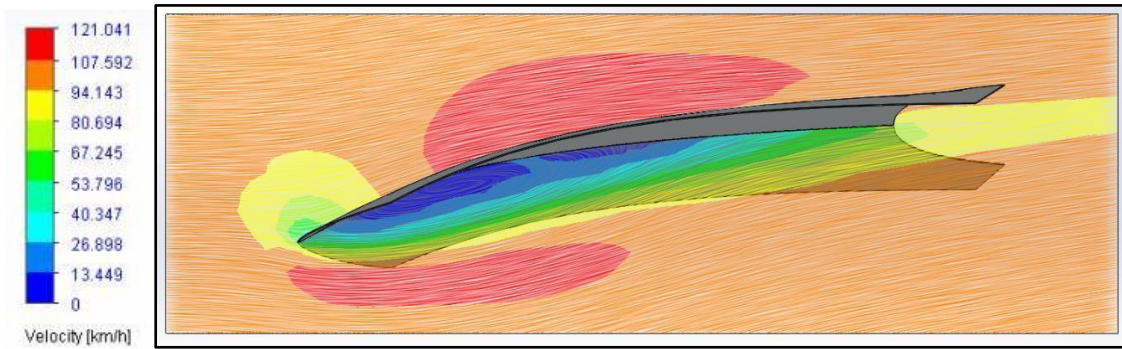


Figura 57. Comportamiento del flujo en el modelo original.
Fuente: Jacquin, A (2024).

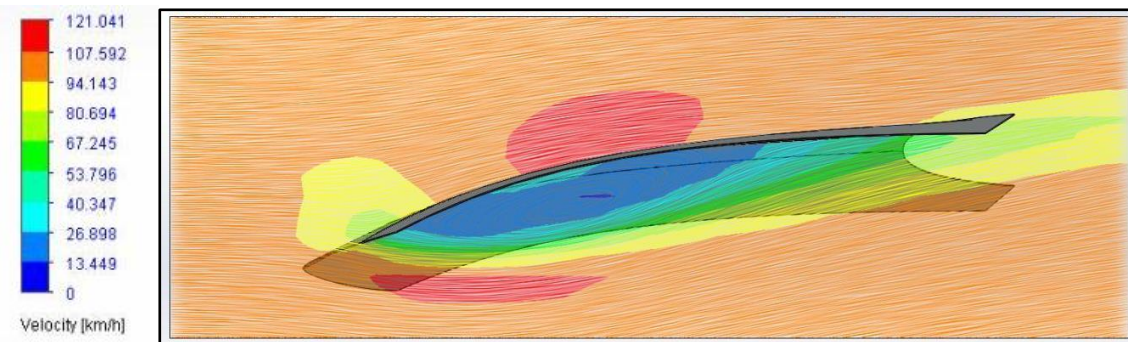


Figura 58. Comportamiento del flujo a un costado del modelo original.
Fuente: Jacquin, A (2024).

La razón por la cual se realizó otro análisis situado más al costado del capó es para la comparación de flujo de aire entre el modelo sin tomas de aire y el modelo propuesto con tomas de aire, además que se seleccionó la vista lateral inferior ya que presenta la mejor visualización del flujo de aire alrededor del capó.

El modelo original muestra la existencia de vórtices de aire en la parte inferior del capó demarcados por los colores azul y turquesa lo cual se traduce en turbulencias en la parte frontal del vehículo que afectan el agarre del mismo. Estos vórtices se generan en dichas áreas ya que el aire no logra ocupar ese espacio antes de ser arrastrado por la corriente de aire a mayor velocidad denotadas en colores amarillo, anaranjado y rojo, esto se explica según el principio de Bernoulli, donde un fluido que se encuentre a menor velocidad presenta una mayor presión y donde las diferentes zonas de un fluido siempre intentarán desplazarse a aquella zona de menor presión.

Tomando los resultados numéricos se observa que la fuerza en conjunto que ejerce el capó es de $102,53 \text{ Newtons}$ o $10,2 \text{ Kgf}$ aproximadamente, donde $9,18 \text{ kgf}$ aproximadamente actúan como la carga aerodinámica del capó y $4,99 \text{ kgf}$ de drag o resistencia; la velocidad máxima a la que circula el aire es 120 km/h y la presión máxima alcanzada es de 102401 Pa .

4.5.2.2.2 Análisis aerodinámico del diseño propuesto

Siguiendo el mismo procedimiento utilizado en el análisis del diseño original se procede a realizar el estudio del diseño propuesto en fibra de carbono y tomas de aire implementadas, teniendo los resultados expuestos en las figuras 59, 60 y 61.

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Force (X) 1	0.00356345 N	Achieved (IT = 40)	0.0410286 N	-0.0508363 N
GG Force (Y) 1	-67.8421 N	Achieved (IT = 40)	39.0973 N	-67.9684 N
GG Force (Z) 1	-49.2211 N	Achieved (IT = 40)	12.1278 N	-49.3698 N
GG Force 1	83.8168 N	Achieved (IT = 40)	39.893 N	84.0065 N
GG Maximum Total Pressure 1	102879 Pa	Achieved (IT = 40)	783.353 Pa	102875 Pa
GG Maximum Velocity (X) 1	98.8464 km/h	Achieved (IT = 40)	8.45032 km/h	98.4332 km/h
GG Maximum Velocity (Y) 1	69.6138 km/h	Achieved (IT = 58)	7.06882 km/h	64.5272 km/h
GG Maximum Velocity (Z) 1	28.7403 km/h	Achieved (IT = 71)	5.85792 km/h	30.7986 km/h
GG Maximum Velocity 1	128.786 km/h	Achieved (IT = 40)	2.61881 km/h	128.741 km/h

Figura 59. Cálculos obtenidos del análisis del diseño propuesto.
Fuente: Jacquin, A (2024).



Figura 60. Comportamiento del flujo en el diseño propuesto.
Fuente: Jacquin, A (2024).



Figura 61. Comportamiento del flujo a un costado del diseño propuesto.
Fuente: Jacquin, A (2024).

Se observa que los vórtices presentes en el modelo original se disminuyeron considerablemente debido a la optimización de entrada y salida de aire producto de la implementación de las tomas de aire en el modelo propuesto. En cuanto a los datos numéricos se observa que la fuerza total del capó disminuyó a 85,82 *Newtons* o 8.75 *kgf*, la carga aerodinámica a 6.91 *kgf*, la resistencia o drag aumentó hasta 5.02 *kgf*; la velocidad máxima del aire aumentó a 128.8 *km/h* y la presión máxima del aire también aumentó a 102789 *Pa*. A continuación, se presenta una tabla con los resultados de ambas simulaciones.

Modelo Resultados	Diseño original	Diseño propuesto
Fuerza total	10.2 Kgf	8.75 Kgf
Carga aerodinámica	9.18 Kgf	6.91 Kgf
Resistencia o drag	4.99 Kgf	5.02 Kgf
Velocidad máxima del aire	120 Km/h	128.8 Km/h
Presión máxima del aire	102401 Pa	102789 Pa
Presencia de vórtices	Alta presencia	Baja presencia

Tabla 4: Comparación de resultados en el estudio aerodinámico del diseño original y el diseño propuesto.

Fuente: Jacquin, A. (2024).

El diseño propuesto presenta una pequeña pérdida de carga aerodinámica y fuerza en general que ofrece el capó, una de las razones puede ser la ligereza del material que hace que la carga aerodinámica proporcionada por el peso del componente no sea tan alta o por la implementación de las tomas de aire con un enfoque más termodinámico y de diseño que puramente aerodinámicas, aunque este último puede ser modificado con mayor detalle para disminuir dicha pérdida. Por otro lado, tenemos una ligera mejora en la velocidad y presión del aire alrededor del capó, cumpliendo con el principio de Bernoulli y mejorando la estabilidad en la zona frontal del vehículo afectando en poca medida la resistencia o drag del auto.

4.5.2.3 Análisis de impacto

Para el análisis de impacto se supuso que el automóvil tiene un impacto frontal contra una pared inamovible mientras viaja a 16.666 m/s o 60 km/h , esta velocidad el coche se detiene por completo en 0.25 segundos y tomando en cuenta la gravedad. En este caso se selecciona un estudio de caída como se observa en la Figura 62.

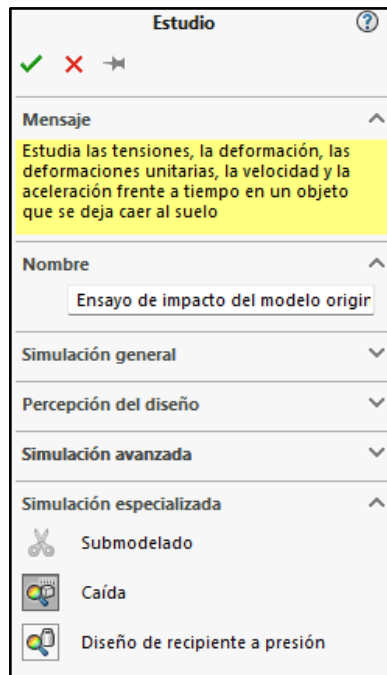


Figura 62. Selección del estudio “Caída”.

Fuente: Jacquin, A (2024).

En la pestaña de configuración seleccionamos la opción de “Velocidad al impactar”, la cual va en dirección del eje Z, la gravedad está actuando en contrario al plano de Planta y la zona de impacto se coloca paralela a un plano de referencia anteriormente colocado como si de una pared rígida se tratase. En la Figura 63 se aprecia tanto la configuración como su visualización en el espacio de estudio.

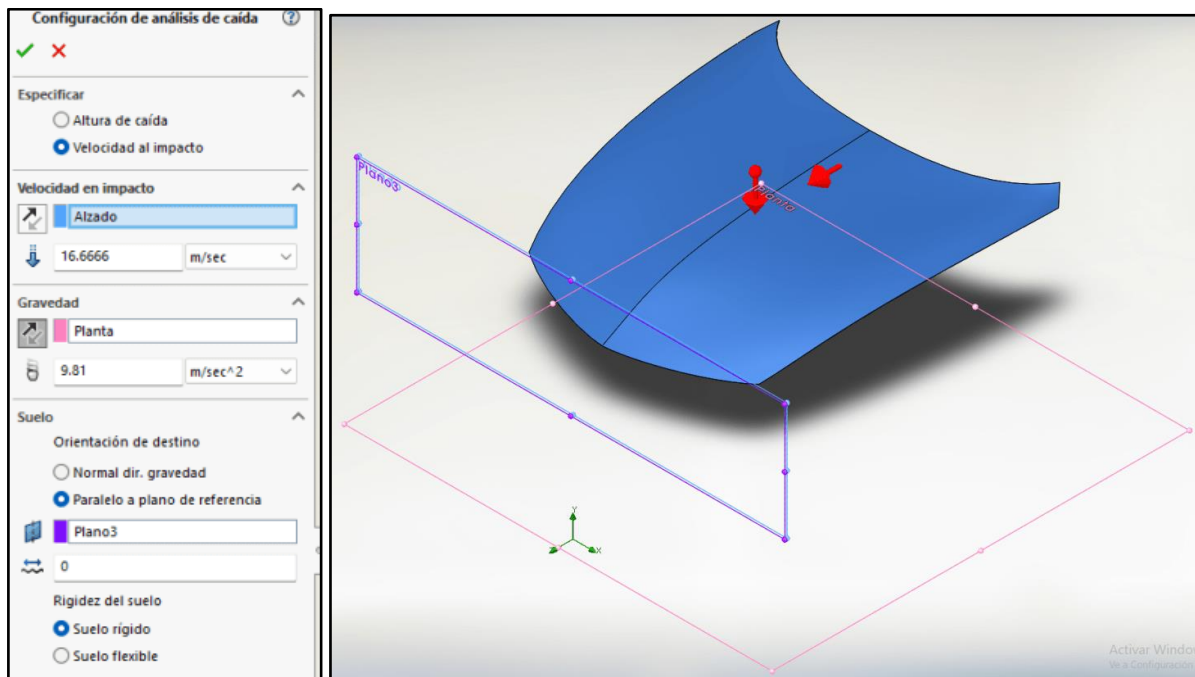


Figura 63. Configuración realizada para el análisis de impacto.

Fuente: Jacquin, A (2024).

4.5.2.3.1 Análisis de impacto del modelo original

La simulación arroja resultados calculados utilizando la teoría de la energía de distorsión de Von Mises explicada en el capítulo II y los desplazamientos que sufre el capó durante distintos períodos del impacto. Para el modelo original del capó se obtuvieron los siguientes resultados.

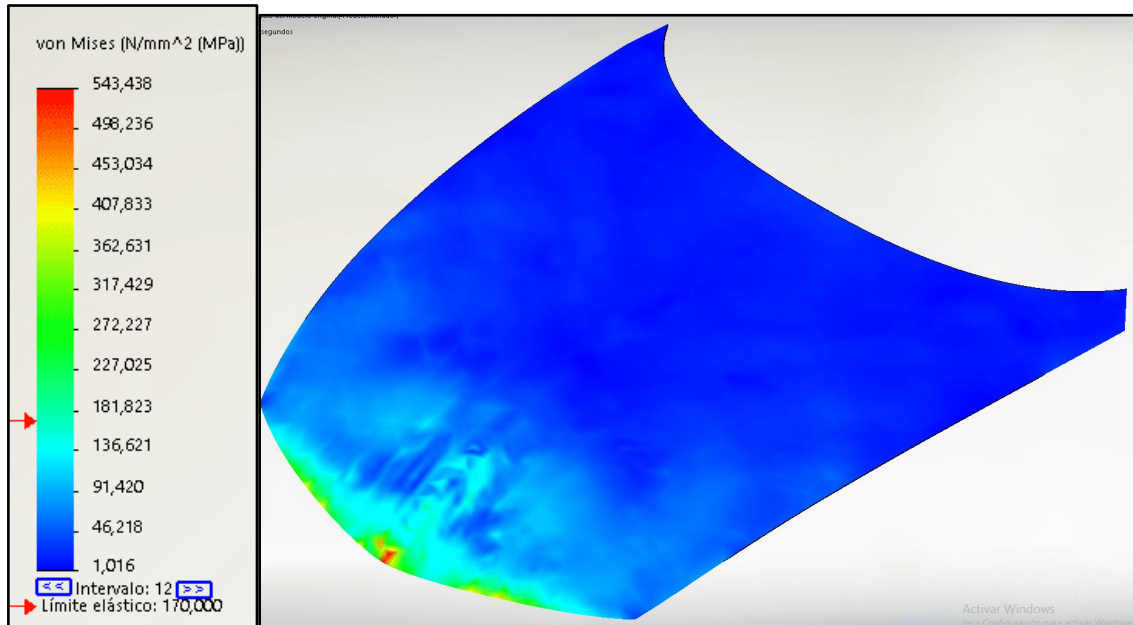


Figura 64. Tensiones por Von mises en el intervalo 12 del análisis de impacto del modelo original.

Fuente: Jacquin, A (2024).

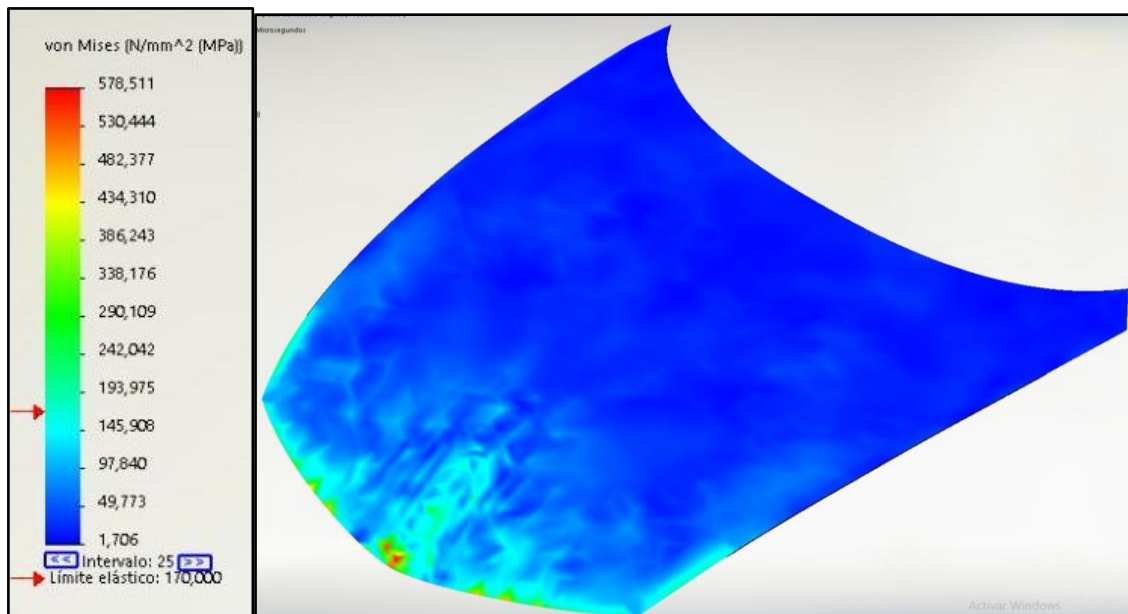


Figura 65. Tensiones por Von mises en el intervalo 25 del análisis de impacto del modelo original.

Fuente: Jacquin, A (2024).

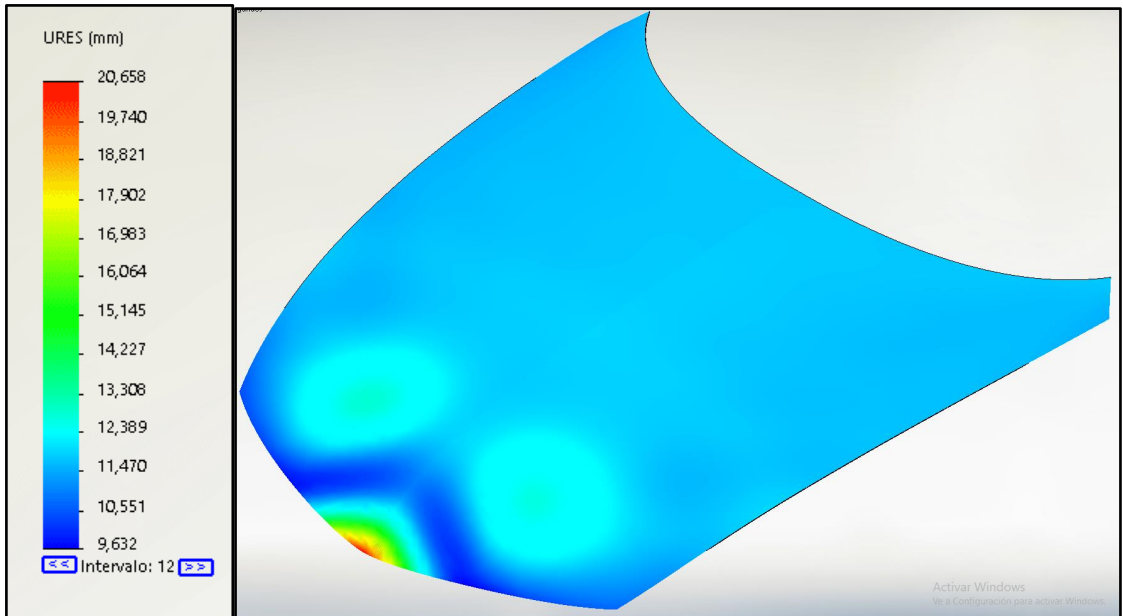


Figura 66. Deformaciones en el intervalo 12 del análisis de impacto del modelo original.
Fuente: Jacquin, A (2024).

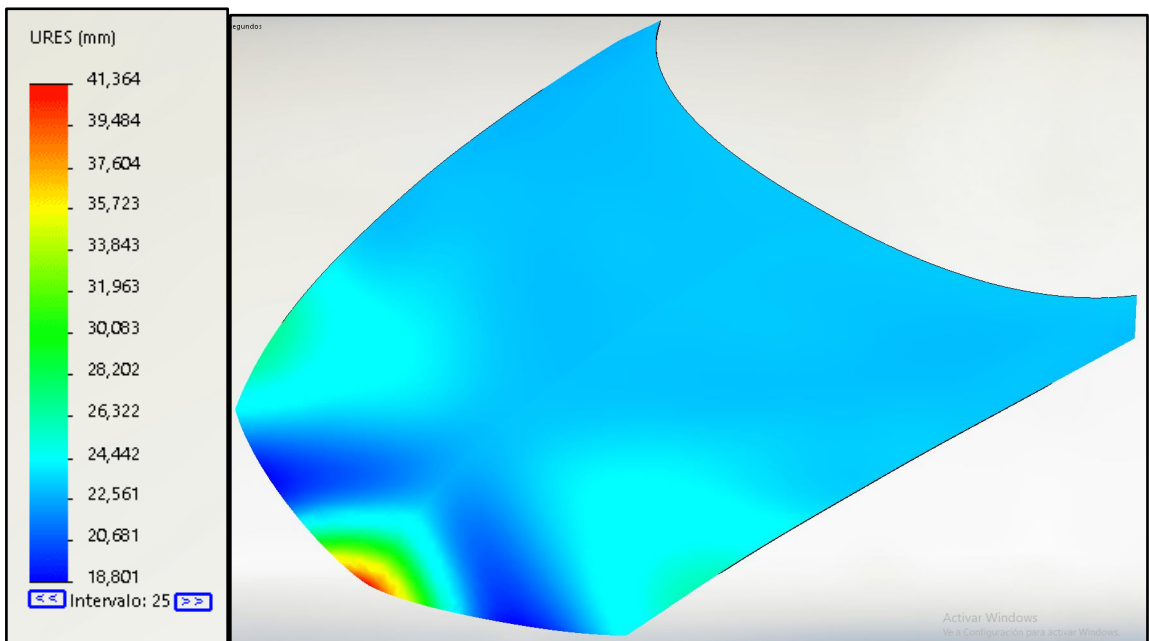


Figura 67. Deformaciones en el intervalo 25 del análisis de impacto del modelo original.
Fuente: Jacquin, A (2024).

El modelo original hecho en aluminio 6010-T4 se deforma considerablemente superando su límite elástico en la parte frontal, presentando una deformación permanentemente en las áreas que superan el color turquí de las figuras 64 y 65. Dicha deformación permite la absorción de energía del impacto a costo de la vida del elemento, en el caso de accidentes a gran velocidad se prefiere este comportamiento como medida de absorción de energía para proteger la integridad del tripulante y, en caso de un accidente peatonal, reduce la energía de

impacto del peatón; mientras que en impactos a menor velocidad que no son tan peligrosos, el capó u otro elemento de la carrocería necesitaría una reparación o sustitución. También podemos observar la disipación de energía cinética a medida que el impacto ocurre, ya que tanto en las tensiones de Von Mises como la deformación se extiende progresivamente hasta la zona central y a los costados del capó, por lo que teóricamente el capó tendría una especie de doblez en la parte media del mismo.



Figura 68. Forma final de un capó luego de un impacto frontal.

Fuente: Jacquin, A (2024).

4.5.2.3.2 Análisis de impacto del diseño propuesto

Siguiendo el mismo procedimiento se obtuvieron los resultados para el diseño propuesto presentados en las siguientes figuras.

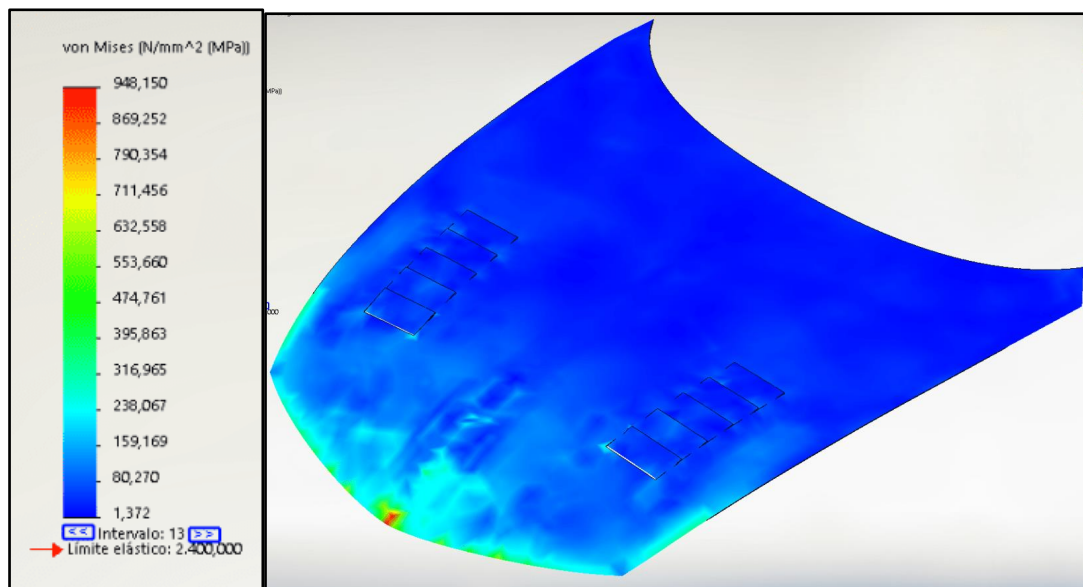


Figura 69. Tensiones por Von mises en el intervalo 13 del análisis de impacto del modelo propuesto.

Fuente: Jacquin, A (2024).

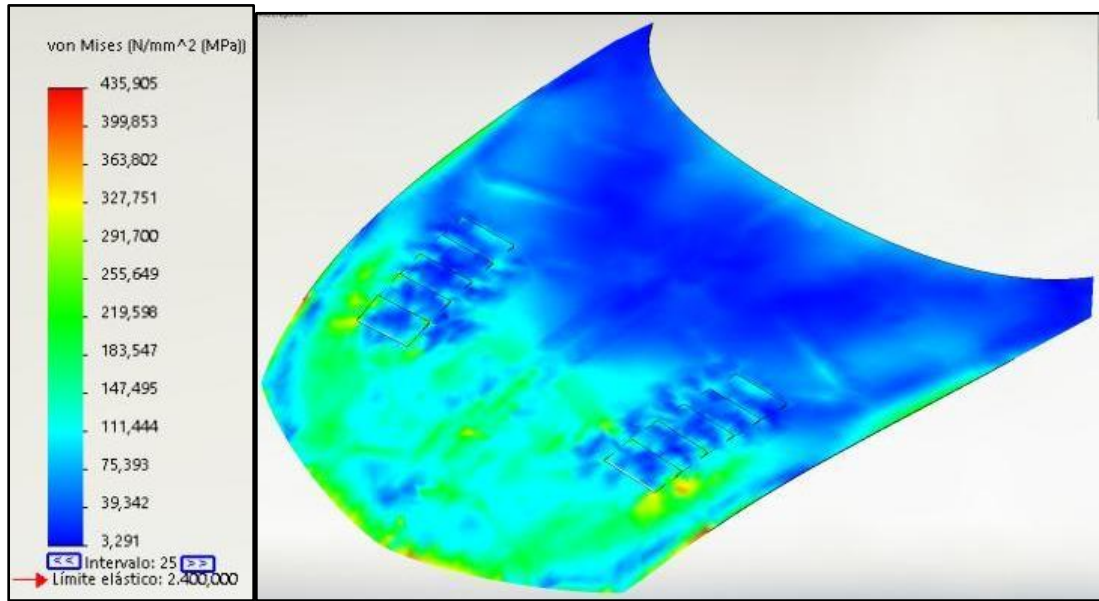


Figura 70. Tensiones por Von mises en el intervalo 25 del análisis de impacto del modelo propuesto.

Fuente: Jacquin, A (2024).

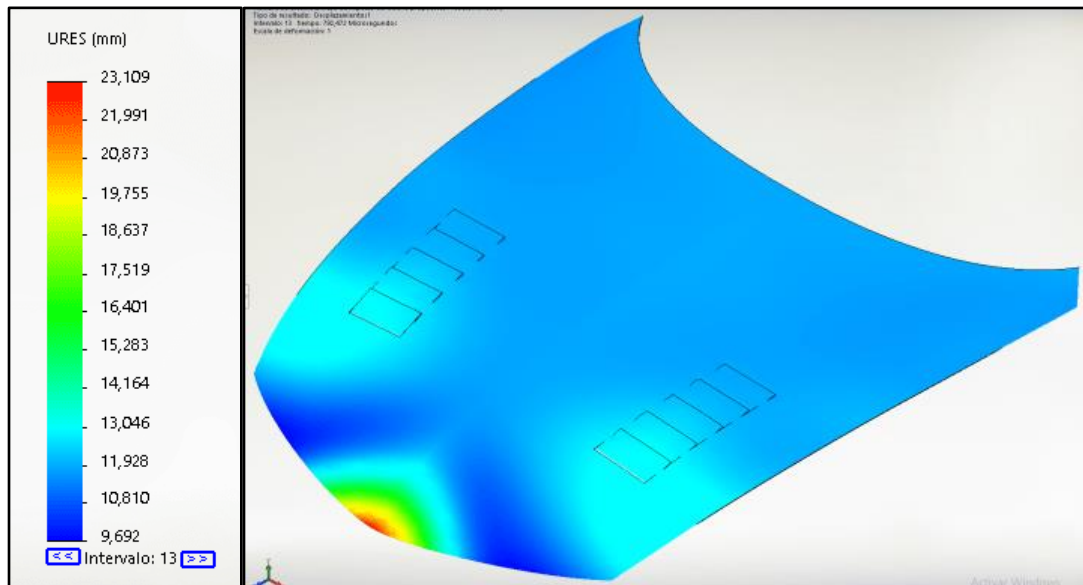


Figura 71. Deformaciones en el intervalo 13 del análisis de impacto del modelo propuesto.

Fuente: Jacquin, A (2024).

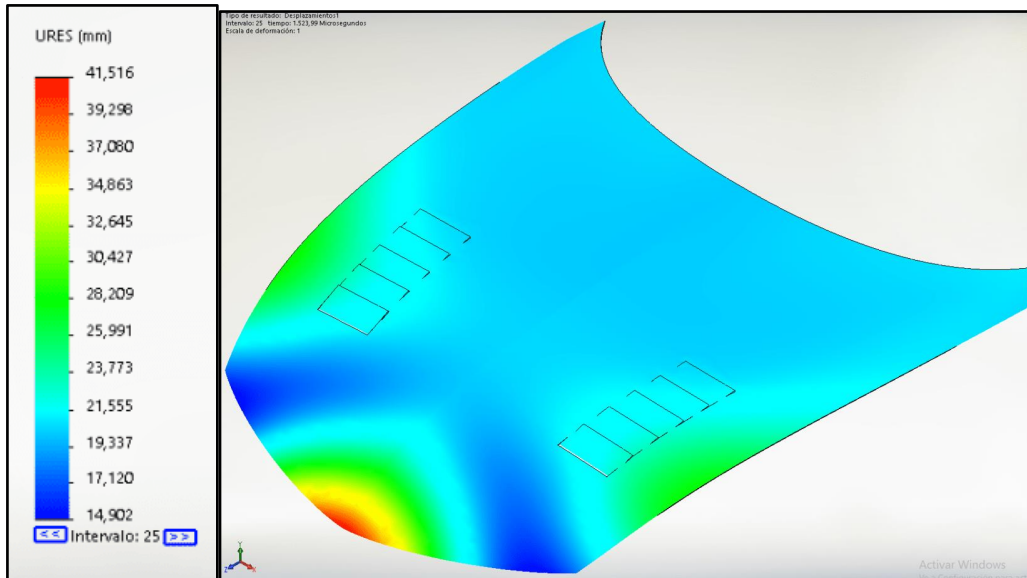


Figura 72. Deformaciones en el intervalo 25 del análisis de impacto del modelo propuesto.
Fuente: Jacquin, A (2024).

El estudio del modelo propuesto muestra diferencias apreciables en las tensiones de Von Mises, mientras que en el modelo original las tensiones máximas llegan aproximadamente a 600 MPa en el modelo de fibra de carbono se obtuvo un pico de 948 MPa y valores entre 800 y 900 en otros intervalos de tiempo durante el impacto, por lo que el capó absorbe una mayor cantidad de energía en un período de tiempo más corto y distribuye dicha energía alrededor de todo el elemento como se observa en la Figura 72, esto le permite al vehículo absorber impactos más severos para proteger al pasajero, siendo una de las razones principales por las que este material es utilizado en el mundo del automovilismo. También se presenta una deformación similar al modelo original, sin embargo, según la Tabla 2 la elongación que puede soportar la fibra de carbono antes de romperse es significativamente menor a la del aluminio, un 1.94% en comparación al 24% que éste último ofrece, por lo que es muy probable que la parte frontal del capó presente grietas o haya perdido algunos pedazos, siendo necesaria la sustitución del componente.

4.5.3 Evaluación económica

El costo de la fibra de carbono puede variar ampliamente dependiendo de varios factores como el tipo de fibra de carbono, el proceso de fabricación, la calidad, la cantidad y la demanda del mercado. Generalmente, la fibra de carbono se considera un material relativamente caro en comparación con otros materiales como el acero, el aluminio o el plástico, especialmente en el área aeroespacial, automovilística y de construcción. A continuación, se presentan las aproximaciones de los diferentes costos asociados con la fabricación de elementos en fibra de carbono de alta calidad y las aleaciones de aluminio.

La información que será presentada en los siguientes apartados fue extraída del artículo “Los compuestos de carbono se están volviendo más competitivos y económicos”, escrito por los autores Dr. Shama R., Consultor Principal Simha, Profesor Rao K. y Dr. Ravikumar pertenecientes a la empresa global de servicios y consultoría Infosys, donde explican mediante gráficos

4.5.3.1 Costo del material

A partir de 2023, el costo promedio de la fibra de carbono puede oscilar entre \$10 y \$50 o más por libra (lb), o entre \$22 y \$110 o más por kilogramo (kg) dependiendo del grado de calidad que estas requieran, por ejemplo, la fibra de carbono comercial usada en la decoración, en la fabricación de chasis de bicicleta u otros elementos sencillos y como envolvente de refuerzo estructural tienen costos más bajos que la fibra de carbono utilizada en el ámbito aeroespacial o automovilístico. Para las aleaciones de aluminio se mencionan, en un reporte realizado por la empresa INDEXBOX, los precios en las que estas oscilan.

En agosto de 2021, el precio medio por libra de aleación de aluminio oscila entre 1,15 y 1,25 dólares. Esto incluye aleaciones de uso común como 6061 y 7075, que se utilizan mucho en las industrias aeroespacial, automotriz y de la construcción. (INDEXBOX, 2023).

La aleación de aluminio 6010-T4 se encuentra dentro del rango de precio, más no se conoce con exactitud su costo. Una comparación realizada por el artículo de Infosys muestra, en el gráfico 1, los costos por kilo de diferentes materiales utilizados en la ingeniería, en el gráfico 2 el consumo global de fibra de carbono de distintas industrias y en el gráfico 3 la tendencia y descenso de los precios del kilo de fibra de carbono entre los años 2012 y 2020.

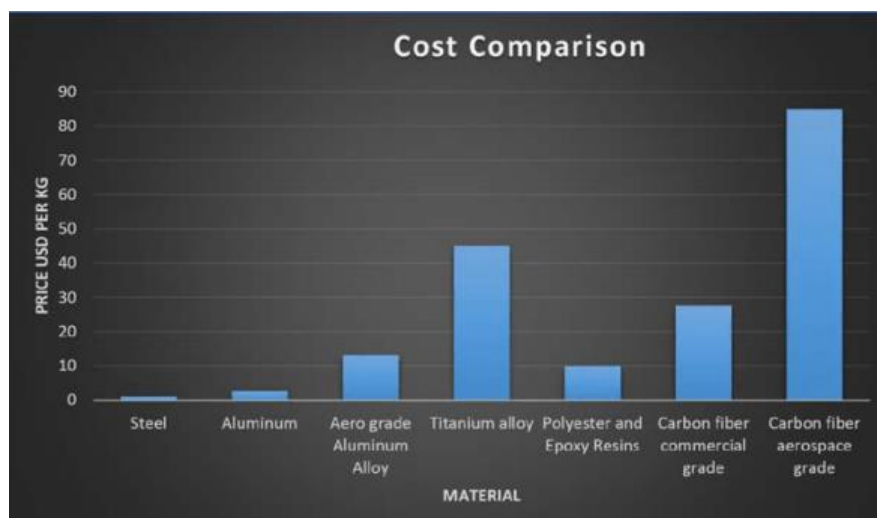


Gráfico 1. Comparación en los costos de distintos materiales.
Fuente: Infosys, (2018).

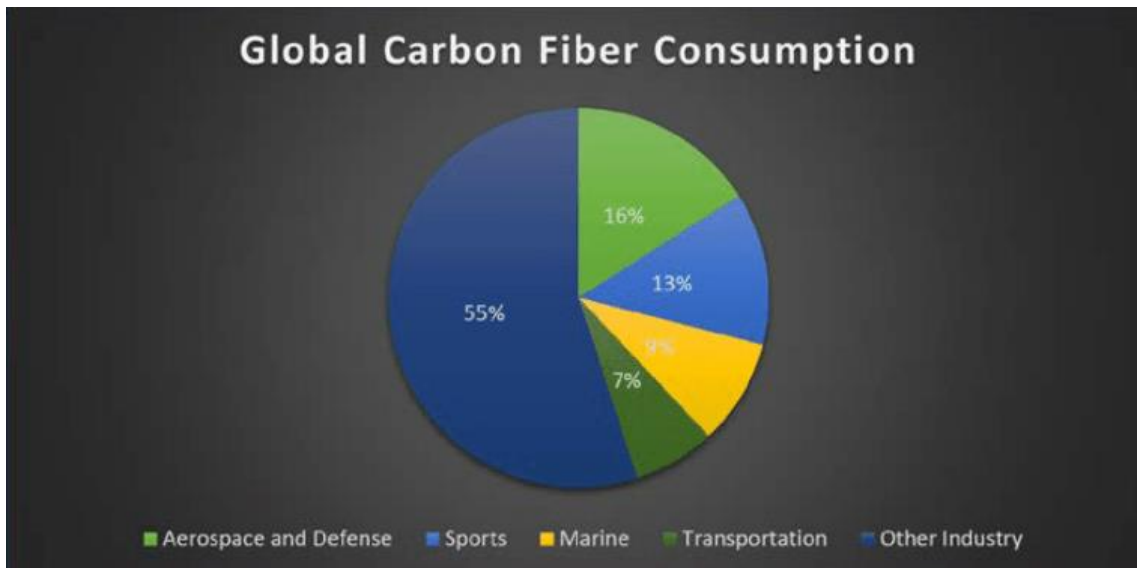


Gráfico 2. Consumo global de fibra de carbono en distintas industrias.
Fuente: Infosys, (2018).

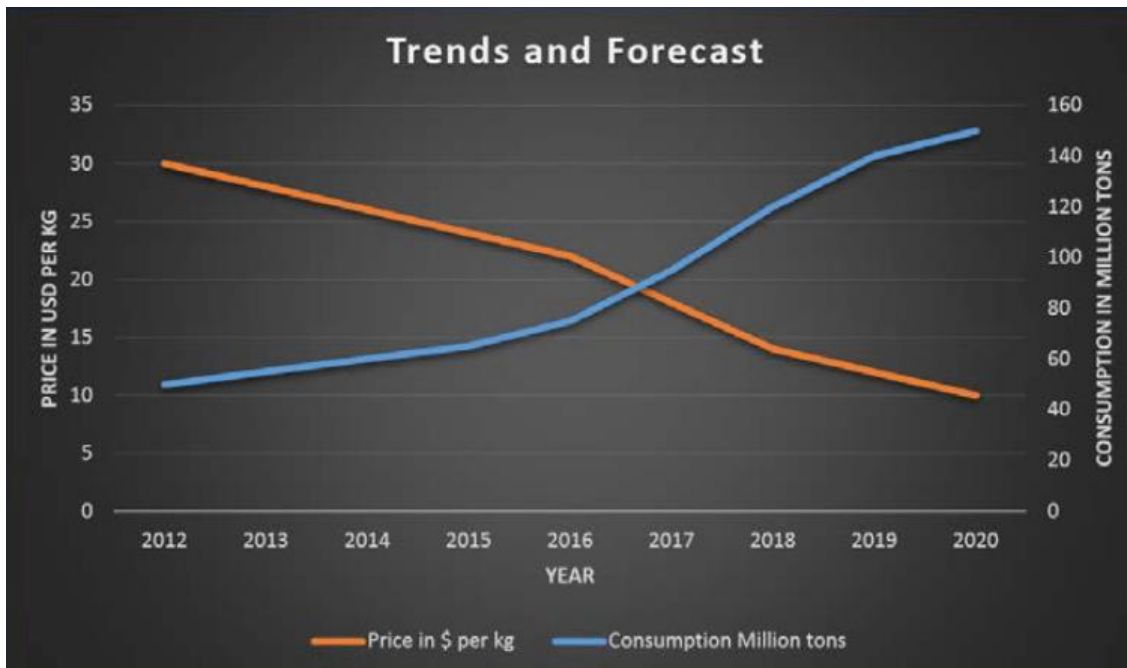


Gráfico 3. Tendencia y descenso del precio por kilo de la fibra de carbono.
Fuente: Infosys, (2018).

Los autores de Infosys mencionan que el costo del producto es la principal causa por la que la fibra de carbono no se ha expandido rápidamente en las industrias, principalmente por factores como la necesidad de resinas de alto desempeño, la falta de procedimientos automatizados y económicos y el procesado del material en altos volúmenes. Es de esperarse que los precios de las fibras de carbono continúen descendiendo con el pasar del tiempo y con la aparición o mejora de nuevas tecnologías en su manufactura.

4.5.3.2 Costos de producción

La fibra de carbono ha presentado un aumento de uso durante los últimos años, con el avance tecnológico surgen métodos de producción mejorados para la fibra, sin embargo, la fibra de carbono requiere procesos complejos como tejido, preimpregnado y laminación, operaciones que actualmente deben ser realizados por expertos de manera manual. Uno de los procedimientos necesarios para la fabricación de fibra de carbono en grandes cantidades es un ciclo de curado, consiste en un tratamiento térmico utilizados para iniciar y finalizar la reacción de los adhesivos termoestables bajo presiones de 4 a 12 bares y períodos de post-curación de por lo menos 12 horas mediante el uso de un “Autoclave”, una máquina que presuriza el vapor dentro de un recipiente sellado.

El procedimiento para la fabricación de, en el caso de esta investigación, elementos de la carrocería consiste en el proceso de moldeado cerrado, donde los compuestos de fibra se colocan dentro del molde, se desoxigena, lo que produce una distribución equitativa de presión. Luego, la temperatura y la presión dentro del autoclave se elevan y se mantienen durante un período específico. Esto endurece el material. Luego, el producto se saca del “autoclave” para realizar otros procesos de producción, como recortarlo o calentarlo adicionalmente en un horno. Los costos totales de elementos medianos fabricados utilizando este procedimiento se observan en el gráfico 4 y 5.

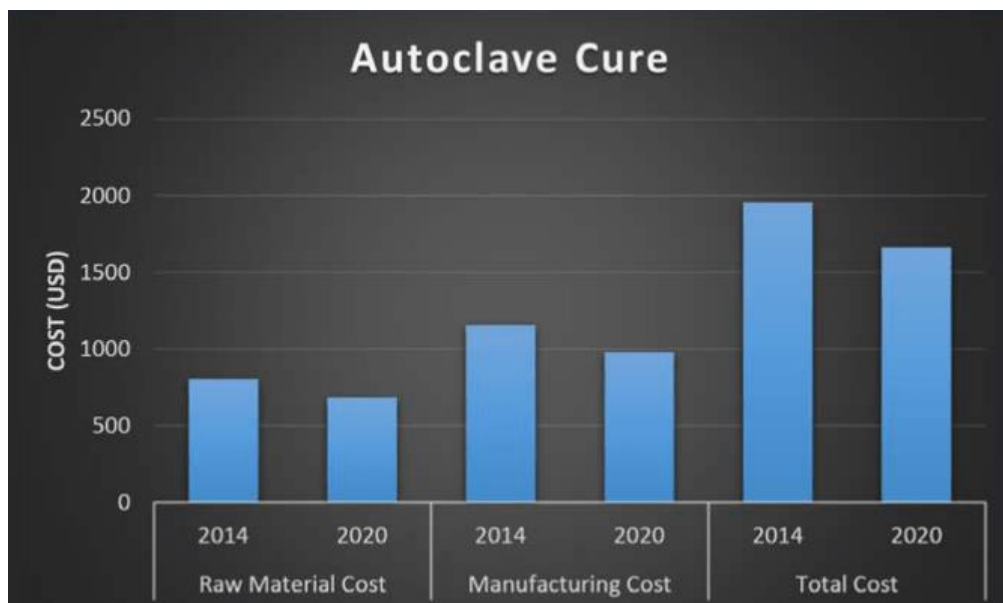


Gráfico 4. Comparación de costos del proceso de curación de fibra de carbono entre el año 2014 y el año 2020.

Fuente: Infosys, (2018).

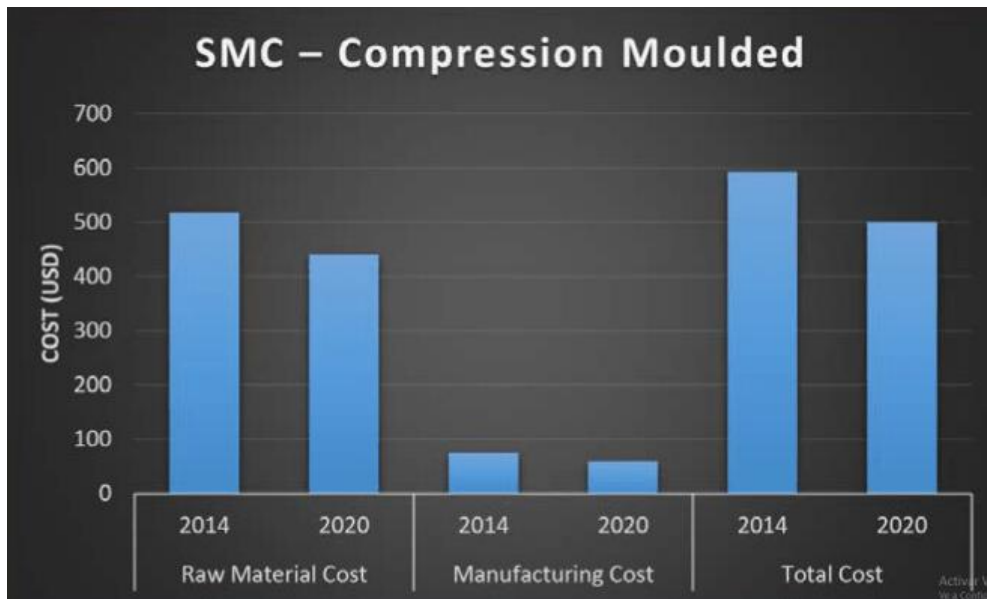


Gráfico 5. Comparación de costos del proceso de moldeo de fibra de carbono entre el año 2014 y el año 2020.

Fuente: Infosys, (2018).

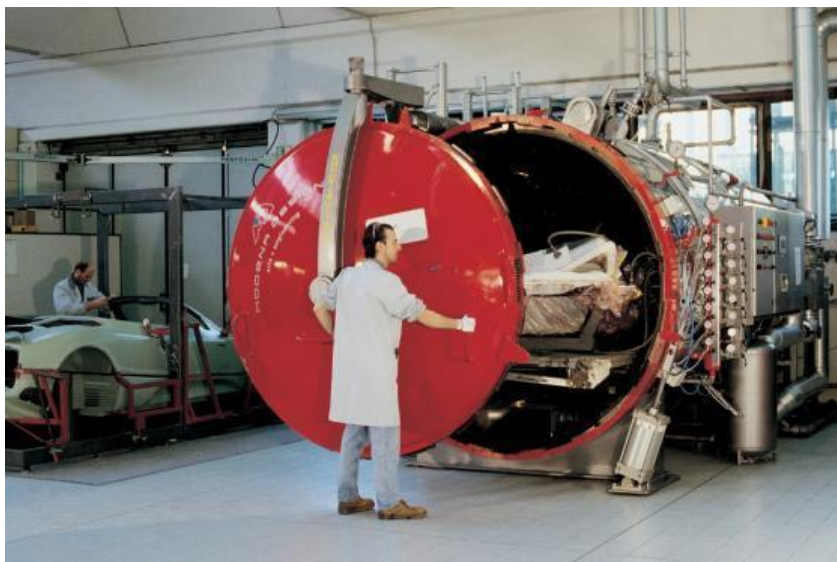


Figura 73. Autoclave utilizada por la marca Pagani para la fabricación de sus vehículos.

Fuente: Jacquin, A (2024).

La fibra sigue siendo de menor escala que el acero, las aleaciones de aluminio o incluso el titanio en la actualidad, con procesos automatizados para la fabricación utilizados por varias empresas alrededor del mundo, siendo Nissan una de ellas. Sin embargo, la fabricación de fibra de carbono en mayores volúmenes reduce sus costes significativamente por el aprovechamiento de recursos y de procedimientos, por lo que no es una opción fuera de rango de las grandes empresas de automóviles. A continuación, se presenta la comparación de costos entre distintos volúmenes de producción.

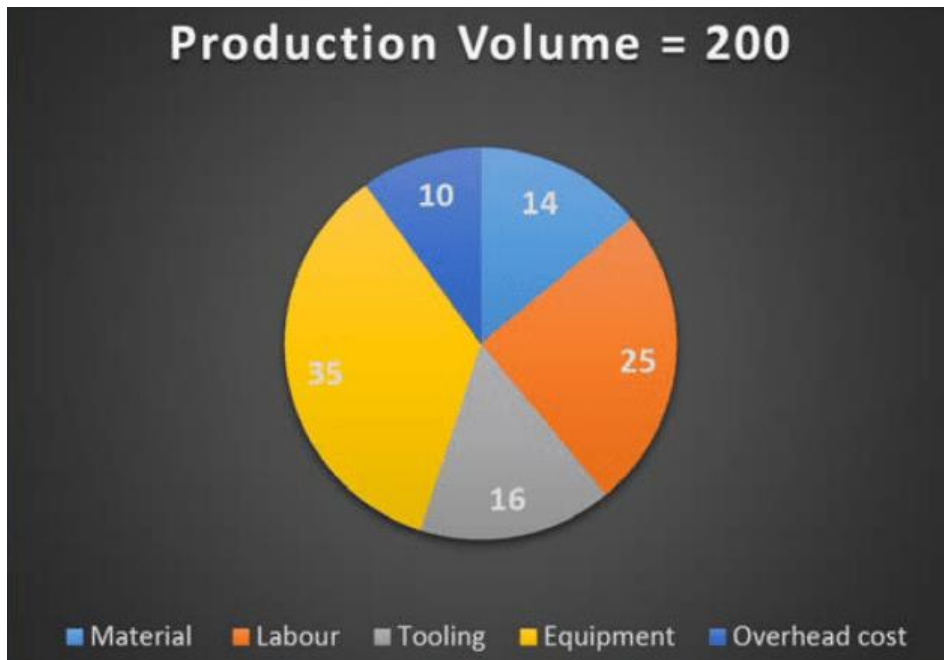


Gráfico 6. Distribución de costos en un volumen de producción de 200.
Fuente: Infosys, (2018).

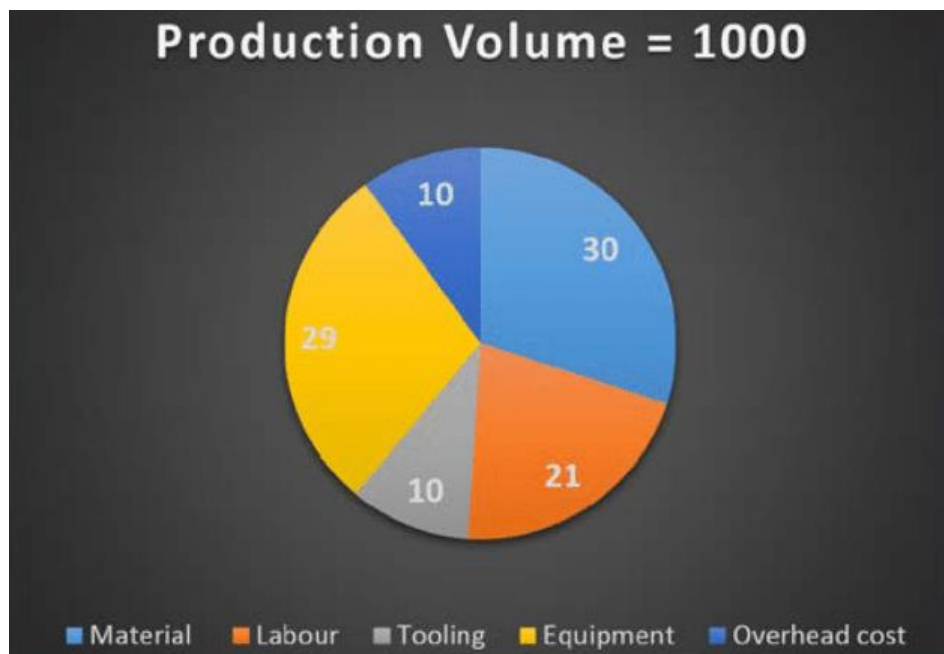


Gráfico 7. Distribución de costos en un volumen de producción de 1000.
Fuente: Infosys, (2018).

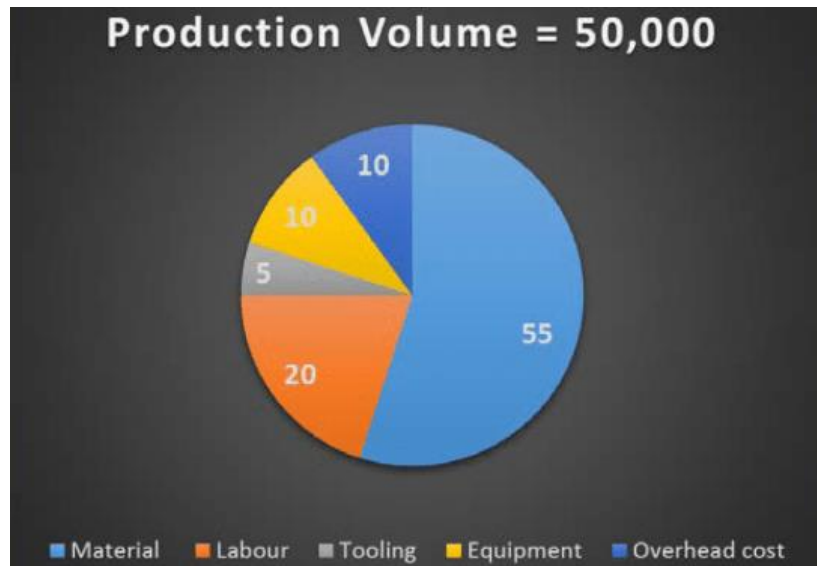


Gráfico 8. Distribución de costos en un volumen de producción de 50000.

Fuente: Infosys, (2018).

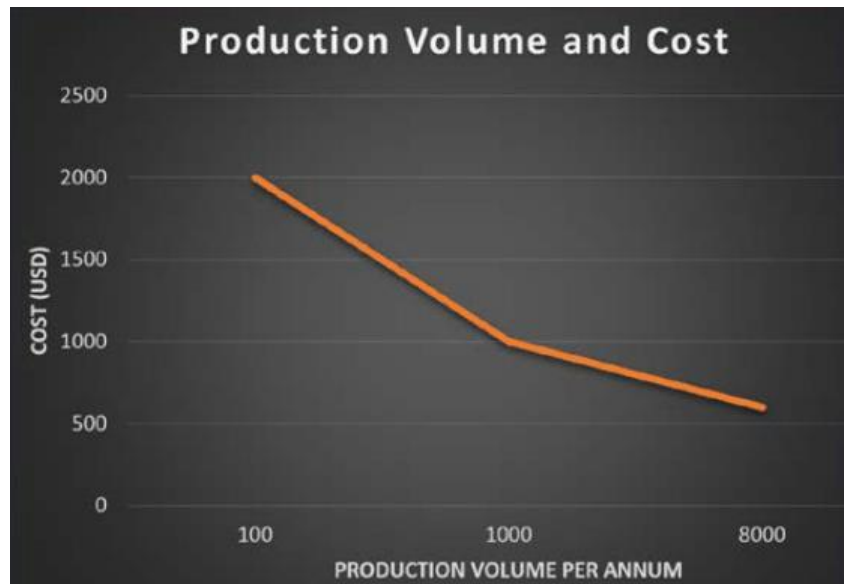


Gráfico 9. Relación Volumen de producción-Costos de la fibra de carbono.

Fuente: Infosys, (2018).

4.5.3.3 Costos de mantenimiento

La fibra de carbono tiene un mantenimiento significativamente más sencillo que el resto de materiales utilizados en la fabricación de automóviles, mientras que las aleaciones de aluminio, el acero y demás elementos metálicos requieren un cuidado más meticuloso, limpieza constante, procesos para el tratado de la oxidación, y anticorrosión que aseguren la vida útil del elemento, la fibra de carbono se mantiene con limpiezas periódicas y el reemplazo de piezas en caso de sufrir daños graves, por lo que la fibra tiene una mejor durabilidad con menos mantenimiento requerido.

4.5.3.4 Recapitulación de costos

Utilizando lo anteriormente mencionado se muestra el cuadro comparativo entre la aleación de aluminio 6010-T4 utilizada en el modelo original del Z y la fibra de carbono T800S utilizada en el modelo propuesto para una visión más directa y objetiva de las ventajas y desventajas económicas de cada uno de ellos.

Modelo Costos	Aleación de aluminio 6010-T4	Fibra de carbono T800S
Costos del material	1.15\$ a 1.5\$ por libra	22\$ a 110\$ por libra
Costos de producción	Moderados	Altos
Costos de mantenimiento	Muy altos y complicados	Bajos y sencillos
Tiempo de vida útil	Moderado con un tratado correcto	Muy alto con poco o ningún tratado
Dificultad de producción	Procesos automatizados y grandes fábricas	Proceso más lento y realizado por encargo
Escala de producción	Producción a nivel mundial	Producción de proveedores específicos
Proyección futura	Se mantiene como material de fabricación estándar	Baja de precios gracias al desarrollo de tecnologías y aumento en el mercado

Cuadro 2: Comparación de características económicas entre el aluminio 6010-T4 y la fibra de carbono T800S.

Fuente: Jacquin, A. (2024).

Los elementos fabricados en fibra de carbono se están volviendo más competitivos y menos costosos gracias a los avances en los materiales, tecnologías de manufactura, técnicas de ensamblaje y su implementación en el mercado. Estas tecnologías avanzadas ayudarán a reducir el costo de los compuestos de carbono y permitirán un abasto a la demanda creciente de los próximos años. En la actualidad las aleaciones de metales siguen siendo la opción principal en el desarrollo de automóviles a gran escala y, como se mencionó anteriormente, el uso de la fibra está limitado a ciertos modelos deportivos para que puedan cumplir con los estándares que se esperan. No obstante, no sería una sorpresa ver en un futuro próximo el rápido aumento del uso de fibra de carbono en el mercado.

CONCLUSIONES

Las pruebas y análisis llevados a cabo en el diseño propuesto del capó fabricado en fibra de carbono para el modelo Z (RZ34) permitieron identificar las ventajas que posee dicho elemento frente a la versión original que tiene el vehículo. Especificando las características y puntos débiles que presenta el capó original fabricado en aleación de aluminio 6010-T4 que disminuye el desempeño general del vehículo, como lo pueden ser el peso, el perfil aerodinámico y otras variables. Seleccionando bajo la premisa de una fibra de carbono con mejores propiedades que el aluminio anteriormente mencionado y orientada al uso en el automovilismo, la fibra de carbono T800S de modulo intermedio con fibra de alta resistencia a la tracción perteneciente al fabricante Toray Composite Materials America, Inc. y creando un diseño propio que implemente tomas de aires a los costados para funciones térmicas y aerodinámicas, modelando dicho diseño con las dimensiones del compartimento del motor y las regulaciones en la fabricación de automóviles dentro de softwares de diseño CAD, para posteriormente ser sometido al software de simulación de sólidos CAE y que, mediante el uso de herramientas de aproximación numérica CFD, se permitió evidenciar el buen comportamiento que mostró el capó en los análisis de transferencia de calor, análisis aerodinámico y análisis de impacto que son presentados en el uso común de los automóviles.

Además, se logró realizar una comparación directa del comportamiento de la aleación de aluminio 6010-T4 y la fibra de carbono T800S de módulo intermedio en la transferencia de calor, donde el modelo propuesto mostró el comportamiento necesario para soportar las temperaturas presentes en el compartimento del motor y el exterior, teniendo la misma capacidad de transferir el calor que el modelo original y la funcionalidad de las tomas de aire.; se demostró también un descenso en los vórtices generados en la parte inferior del capó, reduciendo en gran medida las turbulencias que pueden presentarse en la zona frontal del vehículo mediante la guía del aire dentro y fuera del compartimento utilizando las tomas de aire; y por último, el diseño propuesto demostró una absorción de energía de 948.15 MPa en un impacto frontal gracias a las altas propiedades de elasticidad y resistencia a la tracción que la fibra de carbono T800S ofrece. El uso del software de diseño y simulación de sólidos SolidWorks 2019 junto sus herramientas de simulación, análisis de fluido y diseño permitió con éxito la construcción tridimensional del modelo propuesto y, utilizando su apartado de herramientas de aproximación numérica el análisis de las propiedades y los comportamientos de los materiales utilizados en la investigación presente.

RECOMENDACIONES

Se puede aumentar la precisión de los resultados obtenidos utilizando softwares orientados al diseño automovilístico como lo puede ser Autodesk o Catia 3DExperience, con el fin de tener una mayor cantidad de parámetros y variables presentes en las distintas simulaciones que un vehículo o uno de sus componentes pueden verse sometidos para obtener resultados mucho más cercanos al comportamiento real.

La implementación del capó propuesto en otros vehículos similares al modelo Z como pueden ser su competidor directo el Toyota GR Supra o su antecesor, el Nissan 370Z para comparar los resultados finales y tener la capacidad de evaluar su viabilidad en distintos automóviles con perfiles aerodinámicos diferentes, motores de mayor o menor potencia, peso total y la distribución del mismo a través del vehículo y otras diferencias que presenta el amplio mercado de automóviles deportivos.

Los materiales previamente analizados pueden ser comparados con un tercer material de construcción como lo puede ser las distintas variaciones de fibra de vidrio, esto aumenta las opciones de seleccionar un material enfocado en las condiciones específicas que se quieran obtener en lugar de una elección general, dichas condiciones pueden ser menos peso, más facilidad de fabricación, estética, la disponibilidad o precio de los materiales, entre otros.

Las recomendaciones mencionadas permiten un mayor campo de selección o implementación de materiales y diseños que estén enfocados en las metas que el automóvil debe cumplir, obteniendo el desempeño que el cliente está solicitando y realizando ajustes en los precios de dichos vehículos.

REFERENCIAS

- Abruscato, A. (2019, octubre). Diseño aerodinámico de un alerón delantero de un monoplace de Fórmula 1 bajo las condiciones del Autódromo Nazionale Di Monza mediante el uso de técnicas de aproximación numérica CFD [Trabajo de grado, Universidad José Antonio Páez]. Repositorio Institucional UJAP.
- Arias, F. (2016): El proyecto de investigación, Caracas: Episteme. 7ma Edición.
- Atiyeh, C. (2018, 05 de abril). Designer Genes: How Regulations Dictate the Look of New Cars. Car and Driver. Consultado el 30 de septiembre de 2023.
<https://www.caranddriver.com/news/a19660495/designer-genes-how-regulations-dictate-the-look-of-new-cars/>
- Bros FOURR Speed. (2022, 27 de junio). What's underneath the all-new 2023 Nissan Z performance? Consultado el 20 de enero de 2024. YouTube.
https://www.youtube.com/watch?v=GvmmSmMD_s0
- Calaza, H. (2014, 29 de septiembre). ¿Sabes qué es subviraje y sobreviraje? Autocosmos. Consultado el 28 de octubre de 2023. <http://noticias.autocosmos.com.ve/2014/09/29/sabes-que-es-subviraje-y-sobreviraje>
- CarBuzz. (s. f.). 2024 Nissan Z Exterior Colors & Dimensions: Length, width, tires. Consultado el 14 de enero de 2024 <https://carbuzz.com/cars/nissan/z/photos-exterior#69>
- Cerda, C. (2022, 25 de julio). Te explicamos qué es la carga aerodinámica y cómo influye en un coche. AutoDinámico. Consultado el 28 de noviembre de 2023.
<https://autodinamico.mx/entradas/te-explicamos-que-es-la-carga-aerodinamica-y-como-influye-en-un-coche/>
- Coupé de 2 puertas Nissan Z 2024. (s. f). Nissan. Consultado el 03 de diciembre de 2023.
<https://es.nissanusa.com/vehicles/sports-cars/nissan-z.html>
- Davis, N. (2021, 19 de noviembre). The Development of Carbon Fiber Reinforced Polymer Upright Prototypes for a Formula SAE Race Vehicle [Tesis de maestría, Universidad de Kansas]. Repositorio Kuscholar Works.
https://kuscholarworks.ku.edu/bitstream/handle/1808/34300/Davis_ku_0099M_18106_DATA_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ensayo de tensión. (2020, 13 de julio). Aceros Levinson. Consultado el 06 de diciembre de 2023. <https://www.aceroslevinson.com/2020/07/ensayo-de-tension/>

- Equipo editorial, Etecé. (2023). Metales: información, clasificación, usos y características. Enciclopedia Humanidades. Consultado el 30 de septiembre de 2023. <https://humanidades.com/metales/>
- Facfox, Inc. (2023, 26 de junio). PrePreg Carbon fiber vs wet carbon fiber: Which one to choose? Consultado el 03 de diciembre de 2023. <https://facfox.com/docs/kb/prepreg-carbon-fiber-vs-wet-carbon-fiber>
- Hernández, Fernández y Baptista (1998): Metodología de la investigación. México: Mc Graw Hill. 1era Edición.
- Herrmann, M. (2016, diciembre). Análisis de rigidez torsional y frecuencia natural de un chasis de polímero reforzado con fibra de carbono para vehículos de Fórmula SAE utilizando análisis de elementos finitos [Tesis de maestría, Universidad Politécnica Estatal de California]. Repositorio Digital commons. <https://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2883&context=theses>
- IndexBox Inc. (2023, 14 de febrero). Aluminum alloy price per pound. Search. Consultado el 07 de Marzo de 2024. <https://www.indexbox.io/search/aluminum-alloy-price-per-pound/#:~:text=The%20price%20of%20aluminum%20alloy,is%20around%20%241.15%20to%20%241.25.>
- Industrial Physics. (2022, 19 de diciembre). Soluciones de pruebas de carrocerías de automóviles. Industrial Physics. Consultado el 19 de septiembre de 2023. <https://industrialphysics.com/es/base-de-conocimientos/articulos/soluciones-de-pruebas-de-carrocerias-de-automoviles/>
- Infosys. (2018). Carbon fiber composites are becoming competitive and cost effective. Infosys. Consultado el 07 de Marzo de 2024. <https://www.infosys.com/engineering-services/white-papers/documents/carbon-composites-cost-effective.pdf>
- Ipsium. (2021, 9 de enero). Análisis de las deformaciones de los vehículos implicados en un accidente de tráfico. Reconstrucción accidentes de tráfico IPSUM. Consultado el 28 de noviembre de 2023. <https://reconstruccionaccidentestrafico.com/analisis-de-las-deformaciones-de-los-vehiculos-implicados-en-un-accidente-de-traffic/>
- Joseph E. Shigley. (1985). Diseño de Ingeniería Mecánica. México, D.F: McGraw-Hill. 3era Edición.
- Kumar, R. (2022, 07 de mayo). Hood Design for the Car that Satisfies the Industry's Manufacturing Requirements, Functional Requirements, and As Well As European N.C.A.P Standards Using Siemens NX CAD. Skill-Lync. Consultado el 30 de septiembre de 2023. <https://skill-lync.com/student-projects/hood-design-week-2-20>

- Leskow, E. (2021, 15 de julio). Conductividad Térmica - Concepto, métodos y ejemplos. Consultado el 28 de noviembre de 2023. <https://concepto.de/conductividad-termica/>
- López, J. (2019, 28 de junio). Fibra de carbono: qué es y por qué es tan atractiva para la electrónica de consumo como para la aeronáutica o la automoción. Xataka. Consultado el 30 de septiembre de 2023. <https://www.xataka.com/investigacion/fibra-carbono-que-que-atractiva-para-electronica-consumo-como-para-aeronautica-automocion>
- Luque, J. (2017, 28 de diciembre). Así es un crash test del Koenisegg Regera: un destrozado de 2 millones de euros. Consultado el 15 de enero de 2024. <https://www.caranddriver.com/es/coches/planeta-motor/a50753/el-crash-test-del-koenisegg-regera/>
- Mateos, J. (2020, 13 de mayo). ¿Qué materiales se emplean en la fabricación de una carrocería? Autofacil.es. Consultado el 19 de septiembre de 2023. <https://www.autofacil.es/tecnica/materiales-fabricacion-carroceria/195648.html>
- McBeath, S. (1998): Aerodinámica del automóvil de competición. Haynes Group. 1era Edición.
- Mechanical testing: Different types of testing for mechanical properties. (2022, 30 de septiembre). Rapiddirect. Consultado el 06 de diciembre de 2023. <https://www.rapiddirect.com/es/blog/que-es-ensayo-mecanico/>
- Molina, F. (2018, julio). Diseño de un basculante de motocicleta en fibra de carbono y lino para competición [Trabajo de fin de grado, Universitat Politècnica de València]. Repositorio RiuNet. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/112836/MOLINA%20-%20DISEÑO%20DE%20UN%20BASCULANTE%20DE%20MOTOCICLETA%20DE%20FIBRA%20DE%20CARBONO%20Y%20LINO%20PARA%20COMPETICION.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Muratalla, H. (2022, 06 de julio). Los materiales para la carrocería de un auto. Ulbrinox. Consultado el 19 de septiembre de 2023. <https://www.ulbrinox.com.mx/blog/los-materiales-para-la-carroceria-de-un-auto#:~>
- Palos, A. (2017, 23 de enero). Aleaciones de aluminio A-319 T6 en la industria automotriz. CienciAcierta. Consultado el 30 de septiembre de 2023. <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/12/12/aleaciones-de-aluminio-a-319-t6-en-la-industria-automotriz/>
- Partes principales en vehículos automóviles. (2023, 04 de octubre). En Wikipedia. Consultado el 19 de septiembre de 2023. https://es.wikipedia.org/wiki/Automóvil#Partes_principales_en_vehículos_automóviles

- Pedro. (2014, 05 de febrero). Tipos de fibra de carbono. Fibradecarbono.es. Consultado el 30 de septiembre de 2023. <https://www.fibradecarbono.es/articulos/tipos-de-fibra-de-carbono/>
- Pendás, Á. (2020, 29 de abril). Carga aerodinámica, cómo se cuantifica y cuál es su importancia. Motor.es. Consultado el 28 de noviembre de 2023. <https://www.motor.es/noticias/carga-aerodinamica-202066977.html>
- Pérez, M. (2023, 27 de julio). Densidad. Concepto-Definición. Consultado el 30 de septiembre de 2023. <https://conceptodefinicion.de/densidad/>
- Portillo, M. en conjunto con Chacón, R, Moreno, M y Bongiorno, F. (2011, 01 de abril). Simulación y análisis de una prueba de choque de un automóvil tipo deportivo, utilizando un software basado en el método de los elementos finitos [Trabajo de fin de grado, Universidad de los Andes]. Repositorio Redalyc. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507550790011>
- Reddy, S. (2021, 12 de mayo). Hood design by following EURO NCAP regulations. Skill-Lync. Consultado el 30 de septiembre de 2023. <https://skill-lync.com/student-projects/hood-design-week-2-162>
- Resina epoxi. (2023b, 30 de noviembre). En Wikipedia. Consultado el 03 de diciembre. https://es.wikipedia.org/wiki/Resina_epoxi
- Rivers, S. (2023, 14 de enero). New Nissan Z crashed in Canada only days after delivery. Carscoops. Consultado el 28 de noviembre de 2023. <https://www.carscoops.com/2023/01/new-nissan-z-crashed-in-canada-only-days-after-delivery/>
- Sampieri R., Fernandez C., Baptista P., (2006): Metodología de la Investigación. McGraw – Hill. 5ta Edición.
- Sánchez, F. (2023, 01 de agosto). Materiales. Concepto-Definición. Consultado el 30 de septiembre de 2023. <https://conceptodefinicion.de/materiales/>
- Sanguinetti, E. (2020, 7 de julio). Ley de la Viscosidad de Newton: ecuación fundamental y explicación. Consultado el 20 de noviembre de 2023. <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/calefaccion-instalaciones-componentes/ley-de-la-viscosidad-de-newton-ecuacion-fundamental-y-explicacion.html>
- Significado de metal. (2020). Significados. Consultado el 30 de septiembre de 2023. <https://www.significados.com/metal/>
- Smith, F. y Ochoa, A. (2022, 2 de octubre). El nuevo Nissan Z tiene versión GT4 para divertirse en pista. Consultado el 30 de septiembre de 2023 <https://www.caranddriver.com/es/motorsport/a41463477/nissan-z-gt4/>

- Soluciones de diseño en capós. (2019, 05 de noviembre). Revista CESVIMAP. Consultado el 19 de septiembre de 2023. <https://www.revistacesvimap.com/soluciones-de-diseno-en-capos/>
- Spec Sheets: Tell us what YOUR 2023 Nissan Z build specs will look like and why! (2021, 26 de agosto). Consultado el 06 de diciembre de 2023. <https://www.nissanzclub.com/forum/threads/spec-sheets-tell-us-what-your-2023-nissan-z-build-specs-will-look-like-and-why.424/>
- Spira, N. (2022, 08 de septiembre). ¿Por qué el T6 es el grado de aluminio 6061 más popular? Kloeckner Metales. Consultado el 15 de noviembre de 2023. <https://www.kloecknermetals.com/es/blog/why-is-t6-the-most-popular-6061-aluminum-grade/>
- Sylvain. (2023, 20 de marzo). Bonnet air vents: functions and features. Consultado el 20 de enero de 2024 <https://www.driftshop.com/blog/guide-all-about-bonnet-vents/>
- Tensión de Rotura. (2020, 05 de octubre). En Wikipedia. Consultado el 10 de octubre de 2023. https://es.wikipedia.org/wiki/Tensión_de_rotura
- Tensión de Von Mises. (2023, 04 de octubre). En Wikipedia. Consultado el 10 de octubre de 2023. https://es.wikipedia.org/wiki/Tensión_de_Von_Mises
- Teoría cinética de los gases. (2023, 12 de septiembre). En Wikipedia. Consultado el 10 de octubre de 2023. https://es.wikipedia.org/wiki/Teoría_cinética_de_los_gases
- Todo lo que necesita saber sobre la dureza de los materiales. (2022, 02 de agosto). Rapid-direct. Consultado el 30 de septiembre de 2023. <https://www.rapiddirect.com/es/blog/dureza-de-los-materiales/>
- Valverde, M. (2023, 30 de marzo). ¿Qué es la viscosidad de un fluido y cómo se mide? Consultado el 20 de noviembre de 2023. <https://www.zschimmer-schwarz.es/noticias/que-es-la-viscosidad-de-un-fluido-y-como-se-mide/>
- Vestaliablog. (2023, 23 de enero). ¿Qué es la fibra de carbono y para qué sirve?. Vestalia. Consultado el 19 de septiembre de 2023. <https://vestalia.es/actualidad/que-es-la-fibra-de-carbono-y-para-que-sirve/>
- Vented hood effects and aerodynamics? (2006, 26 de marzo). Consultado el 20 de enero de 2024. <https://www.team-integra.net/threads/vented-hood-effects-and-aerodynamics-s.106095/>
- Videla, L. Cálculo de la matriz de rigidez por integración analítica de un elemento finito cuadrilátero subparamétrico de ocho nodos. Consultado el 30 de septiembre de 2023. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0376-723X2006000300004

¿Qué es CAD, para qué sirve y qué ventajas tiene? (2019, 20 de agosto). Integral Innovation Experts. Consultado el 30 de septiembre de 2023.

<https://integralplm.com/blog/2019/08/20/que-es-cad/>

¿Qué función cumple la carrocería del automóvil? (2022). Másters Automóvil. Consultado el 19 de septiembre de 2023. <https://www.mastersautomovil.com/blog/carroceria/>

¿Qué son los polímeros y cómo se clasifican? (2023). Zschimmer & Schwarz. Consultado el 30 de septiembre de 2023. <https://www.zschimmer-schwarz.es/noticias/que-son-los-polimeros-y-como-se-clasifican>

ANEXO A

Catálogo de Toray Composite Materials America, Inc.



Toray Composite Materials America, Inc.

T800S

INTERMEDIATE MODULUS CARBON FIBER

Intermediate modulus, high tensile strength fiber, developed as a cost effective alternative to T800H. This never twisted fiber has excellent tensile composite properties and is specifically designed to meet the weight saving demand of aircraft and high performance recreational products. Excellent processability in traditional manufacturing methods (weaving, braiding, filament winding, prepreg, etc). Manufacturing locations include Japan, US, and France.

PRODUCT DESIGNATION

T800S	C	24,000	1	0	E
Fiber Type	Twist*	Filament Count	Sizing Type	Surface Treatment	Sizing Amount

* C: Never twisted

FIBER PROPERTIES

PROPERTY	ENGLISH	METRIC	METHOD
Tensile Strength	853 ksi	5,880 MPa	TY-030B-01
Tensile Modulus	42.7 Msi	294 GPa	TY-030B-01
Strain at Failure		2.0%	TY-030B-01
Density		1.80 g/cm ³	TY-030B-02
Filament Diameter		5 μm	
Yield	12K	515 g/1000m	TY-030B-03
	24K	1,030 g/1000m	TY-030B-03

FUNCTIONAL PROPERTIES

PROPERTY	VALUE
CTE	-0.4 α · 10 ⁻⁶ /°C
Specific Heat	0.740 J/g · °C
Thermal Conductivity	0.113 J/cm · s · °C
Electric Resistivity	1.3 x 10 ⁻³ Ω · cm
Chemical Composition: Carbon	>96%
Na + K	<50 ppm

RESIN SYSTEM COMPATIBILITY

SIZING TYPE & AMOUNT	RESIN SYSTEM COMPATIBILITY	METHOD
10E (0.5%)	Epoxy	TY-030B-05
50C (1.0%)	Epoxy, phenolic, polyester, vinyl ester	TY-030B-05

COMPOSITE PROPERTIES

PROPERTY	ENGLISH	METRIC	METHOD
Tensile Strength*	477 ksi	3,290 MPa	ASTM D-3039
Tensile Modulus*	24 Msi	163 GPa	ASTM D-3039
Tensile Strain		1.94%	ASTM D-3039
Compressive Strength*	216 ksi	1,490 MPa	SACMASRM1R-94
Flexural Strength*	247 ksi	1,700 MPa	ASTM D-790
Flexural Modulus*	21 Msi	145 GPa	ASTM D-790
ILSS	13 ksi	87.9 MPa	SACMASRM1R-94
In Plain Shear Strength	20 ksi	135 MPa	ASTM D-3518
90° Tensile Strength	11 ksi	79 MPa	ASTM D-3039

*Normalized to 60% fiber volume. Cured with #2592 epoxy at 130 °C.



T800S

T800S Rev. 1: Updated April 13, 2018



www.toraycma.com
253-846-1777

APÉNDICE A

